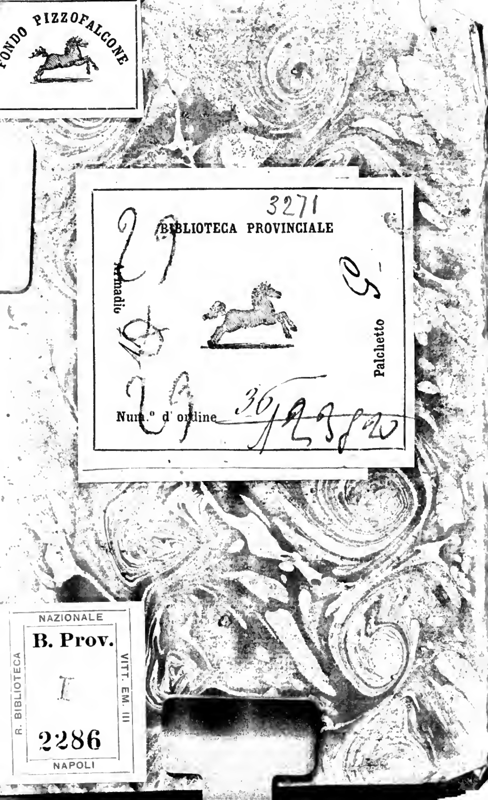
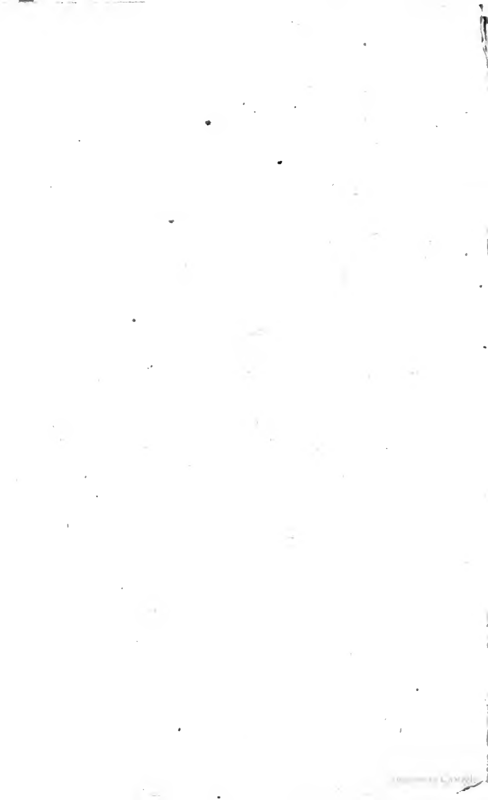



FONDO PIZZOFALCONE
3271
BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine
NAZIONALE
B. Prov.
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
2286
NAPOLI







ESSAY
DE L'APPLICATION DES FORCES CENTRALES AUX EFFETS DE LA POUDRE A CANON,

D'OÙ l'on déduira une Théorie propre à perfectionner les differentes bouches à feu.

Par M. BIGOT DE MOROGUES, Officier d'Artillerie dans la Marine.



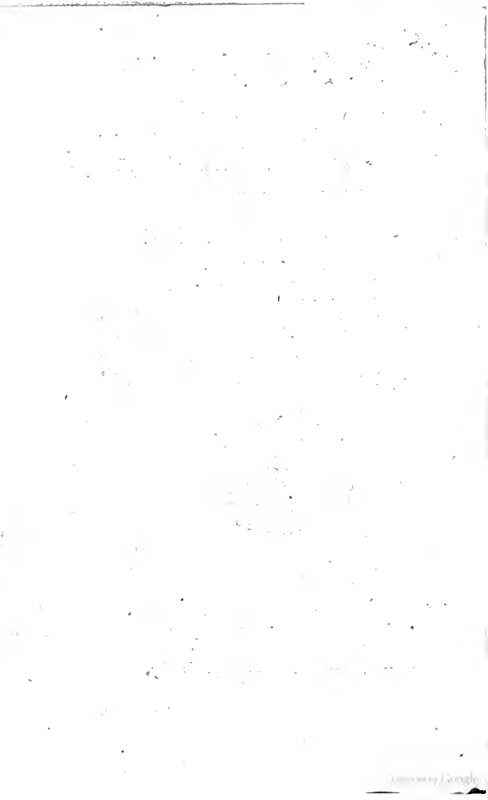


A PARIS, RUE S. JACQUES.

Chez C. A. JOMBERT, Libraire du Roy pour l'Artillerie & le Génie, à l'Image Nôtre-Dame.

M. DCC. XXXVII.

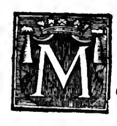
Avec Approbation, & Privilege du Roy.





A MONSEIGNEUR
LE COMTE
DE MAUREPAS,

Ministre & Secretaire d'Etat, Commandeur des Ordres de Sa Majesté.



ONSEIGNEUR,

Quand j'eus l'honneur de Vous présenter ce Memoire en Manuscrit, la protection que Vous accordez aux Scien-

ces, & les bienfaits que Vous avez fait ressentir à des Personnes ausquelles je suis attaché par les liens les plus étroits du sang, furent les motifs qui m'animerent. Je ne pensois pas alors que je dûsse un jour avoir part à des graces qui me regarderoient personnellement. Vous me les avez faites, MONSEIGNEUR, *& l'expression manque à ma reconnoissance : Je m'estimerois heureux si mon application & mon zele pour le service, pouvoient Vous la faire connoître, & devenir en même tems une marque du Respect profond avec lequel je suis,*

MONSEIGNEUR,

Votre très-humble, très-obéissant
& très-soumis Serviteur,
BIGOT DE MOROGUES.

TABLE

Des Articles de ce Memoire.

FIN.



ESSAY
DE L'APPLICATION DES FORCES CENTRALES AUX EFFETS DE LA POUDRE A CANON.

D'où l'on déduira une Théorie propre à perfectionner les differentes bouches à feu.

LES ſentimens ne ſont point partagez dans les Sciences dont les principes ſont évidens, parce qu'on en déduit des conſéquences juſtes qui par un enſeignement & un raport neceſſaire conduiſent ſûrement à ce qu'il y a de plus com-

pliqué. C'eſt ainſi qu'eſt traité la Géometrie ; elle n'a point de ſiſtêmes differens, elle n'admet qu'une idée claire qu'on ne peut révoquer.

Il n'en eſt pas de même de la Phyſique, elle apporte avec elle une obſcurité qui naît de l'ignorance où nous ſommes de la maniére dont la nature agit. Cependant ſa conduite étant uniforme, & toutes les merveilles qui frapent nos yeux & ſurprennent notre eſprit étant des ſuites & des conſéquences neceſſaires d'un principe ſimple, il ne faut pas deſeſperer de parvenir à le connoître : Car s'il eſt vrai que la nature nous cache certaines loix, du moins elle nous laiſſe la liberté de faire des expériences que l'on peut comparer, analiſer, & par leſquelles on peut remonter juſques à ces premieres loix, en gardant toutefois la maniére de raiſonner des Géometres, & ayant attention que le raiſonnement

& les expériences ne se contredisent jamais. C'est à une pareille méthode qu'on est redevable du progrès étonnant des Sciences dans ces derniers tems, & cet heureux succès doit donner de nouvelles forces dans l'éxamen des matiéres qui n'ont pas été traitées à fonds.

On a peu étudié la Poudre.

De tous les sujets qui ont été éxaminez, la poudre à canon est un de ceux qu'on a le moins étudié ; il n'y a cependant gueres de Physicien qui n'en ait parlé, mais ce n'a jamais été qu'en passant, & excepté un Mémoire de Mr de Belidor qui a pris une autre route que celle que je me propose de suivre dans celui-ci, & qui n'en a point fait l'application aux armes, je n'en sçais aucun qui soit entré dans le détail necessaire à la perfection de nos machines de guerre. Il semble que la Poudre ait été entiérement abandonné au Militaire : Ainsi il ne faut pas être surpris

qu'elle ait été ſi peu traitée; le trouble & la diſſipation des armes, eſt peu compatible avec cet eſprit d'éxamen que demande un ſujet ſi compliqué; ce n'eſt donc gueres qu'au funeſte employ qu'on a fait de la Poudre, qu'on eſt redevable de la perfection, où l'attaque & la défenſe des Places eſt parvenuë de nos jours. Mais je ne doute pas que l'on n'allât plus loin encore, ſi l'on faiſoit ſur ce ſujet qui en eſt très ſuſceptible, les mêmes recherches qu'on a faites ſur d'autres.

Si les proprietés de la Poudre enflâmée, n'ont pas fait chez les Sçavans l'objet de leur méditation, ils n'ont pas donné plus de tems à connoître & perfectionner les armes à feu. Ils ont facilement oublié dans la douceur de la paix, & la tranquillité du cabinet, un ſujet qui n'offre que de triſtes images; & les maux dont la guerre eſt ſui-

vie leur a peut-être persuadé que nos machines secondoient assez bien nos desseins. Cependant nous avons senti leur défaut par leur usage, & le besoin de les corriger a fait paroître chaque jour des piéces d'un nouveau modele; la plûpart ont été rejetées, mais au même tems qu'on s'en est détrompé, elles nous ont servi à rendre plus parfaites celles qu'on a conservées.

Changement continuel dans la figure & les proportions des piéces.

Je crois que la pratique a été où elle pouvoit aller, & que le mieux dépend à present du secours de la théorie, jointe cependant aux expériences; en effet, que pourroit la pratique seule ? rien ne fait mieux voir combien elle est aveugle, & combien peu elle a servi à faire connoître la Poudre, que toutes les figures differentes que l'on a données aux chambres des piéces, & les proportions de leurs longueurs si souvent changées. Il ne faut

qu'ouvrir les Memoires d'Artillerie de S. Remy, ou visiter les Arcenaux de Terre & de Mer, pour être convaincu de l'ignorance & de l'incertitude dans laquelle on a toûjours été sur la force & la maniére dont elle agit. Parmi les Mineurs même on dispute encore aujourd'hui de ses effets, & l'on met en problême, si un fourneau extrêmement chargé ne fait qu'un entonnoir semblable à un puits, ou si malgré le préjugé, il en peut faire un dont le diametre surpasse de beaucoup le double de la ligne de moindre résistance ; la raison le veut, la théorie le montre, l'expérience le confirme, & l'opinion contraire a ses Partisans.

Les Mineurs ne sont point d'accord sur les effets de la Poudre.

Tout le monde a été reçû à proposer des inventions nouvelles, où la vivacité de l'esprit & l'utilité personnelle qu'on se promet d'une découverte, ont toûjours eû plus

La theorie de la Poudre n'a point eû de part dans les inventions nouvelles.

de part que le jugement. Auſſi toutes les piéces bizares ont tombé ; enfin cedant à une longue expérience, on ne fait plus uſage aujourd'hui que de piéces cilindriques pour le canon. Dans l'éxamen que je ferai, je ne m'arrêterai qu'aux chambres cilindriques & aux ſphériques, les deux ſeules parfaites, & par-là préferables ; les chambres cilindriques comme meilleures pour le canon, l'experience & le raiſonnement nous en aſſûrent, & les chambres ſpheriques, à cauſe de leur uſage pour les bombes & grenades, & auſſi comme avantageuſes aux mortiers, parce qu'elles tiennent plus de Poudre : ces deux eſpeces de chambres ſont les plus ſimples, & on pourra déduire de ce qu'on en dira, ce qui convient à celles que leur défaut a fait proſcrire.

La ſuite & l'enchaînement des

Une pratique éclai-

sée par la théorie, peut parvenir à perfectionner les piéces.

reflexions qui composent cet écrit, fera voir qu'il est aisé de déterminer dans nos piéces les épaisseurs justes & convenables, les longueurs étant données, & ayant connu les charges proportionnées : enfin on montre la façon d'obvier autant qu'il est possible à la courbure des piéces.

Je ne me servirai que d'expériences sûres, & quand elles me manqueront, j'indiquerai celles ausquelles on peut avoir recours & que ma situation ne m'a pas permis de faire; je donnerai les formules necessaires, & fixerai d'une façon generale & indéterminée toutes les diminutions les unes par raport aux autres, & toûjours en les raportant à la force d'une certaine qualité de poudre, qui ne doit point être variable, du moins plus forte.

Avant que d'entrer en matiére,

je vais tracer un Plan de ce que je me suis proposé de rechercher dans la suite de ce Memoire. Je le fais en faveur des personnes qui ne se soucieront point de me suivre dans le calcul qui entre necessairement dans mes démonstrations, & qui seront cependant bien aises de sçavoir quelles sont mes idées, & comment je pense qu'on peut s'y prendre pour perfectionner les armes. Je ne me flate point d'avoir réussi dans ce dessein, je suis même éloigné de le croire ; je trouve la matiére trop difficile, mais je serai content, & je ne regreterai pas quelques veilles, si ces idées corrigées par des personnes plus sçavantes que je ne suis, contribuent en quelque sorte au bien du service.

Pour connoître les loix selon lesquelles la Poudre agit, je l'ai d'abord considerée dans l'état où elle

Plan de ce qui est démontré dans la suite de ce Memoire.

eſt étant toute enflâmée, & formant un fluide élaſtique, auquel la théorie des tourbillons convient d'autant mieux, que par leur ſecours on rend raiſon du raport des élaſticités d'un fluide differemment denſe & differemment échauffé. J'ai établi une formule générale de laquelle on déduit aiſément pour tous les cas poſſibles, les raports des preſſions de la Poudre enflâmée contre des ſurfaces quelconques, par la connoiſſance que l'on a que les intenſités de la chaleur, ſont en raiſon ſouſdoublée des poids avec leſquels le fluide échauffé eſt en équilibre, ou ce qui eſt la même choſe, en raiſon ſouſdoublée des cauſes de la chaleur; ce qui a donné la facilité de ſubſtituer toûjours une quantité connuë au lieu du quarré de la viteſſe des petits mobiles circulans ſur la ſurface des tourbillons, ce qui repand enſuite

beaucoup de jour ſur tous les cas dans leſquels on employe la formule; elle fait voir, que *ſi les capacités ſont égales, ſes efforts contre des ouvertures égales, ſont comme les quarrés des quantités. Ils ſont en raiſon reciproque des quarrés des capacités, ſi les quantités ſont égales & les capacités differentes. Enfin, ces efforts ſont en raiſon compoſée de la directe doublée des quantités, & de la renverſée doublée des capacités, ſi les quantités & capacités varient.* La formule fait voir encore que la ſuperficie ſpherique eſt celle de tous les corps d'un volume égal, qui ſouffre moins de la preſſion de la Poudre, parce qu'elle eſt plus petite, & que l'effort des tourbillons qui compoſent le fluide enflâmé, ſuit la loi des reſſorts qui preſſent: indépendamment de la ſuperficie qui eſt moindre, la Sphere apporte par ſa figure une réſiſtance plus

grande à la rupture, que celle qu'un autre corps peut offrir. L'examen des Plans rectilignes égaux & infiniment petits, qui bornent ce corps, le fait appercevoir, puisque leur centre de gravité, où l'effort se réünit, est toûjours moins chargé dans la Sphere, que quelque plan d'un solide d'une capacité égale, mais d'une surface differente, qui renfermeroit une égale quantité de Poudre, de sorte qu'on montre qu'avec quelque masse de métal qui soit donnée, on peut toûjours former un corps d'une telle figure, qu'une quantité donnée de Poudre le fera crever. La comparaison de ces plans infiniment petits, fait appercevoir aussi que dans des chambres semblables & chargées dans la proportion des capacités, les efforts qui font rompre, sont bien differens, quoique chaque point soit également pressé; & c'est une suite

neceſſaire de la ſuperficie differente de chaque petit Plan ſemblable.

Je ne penſe pas qu'on puiſſe parvenir par une autre hypoteſe, que celle des tourbillons, à determiner aiſément les preſſions. Elle paroît conforme aux loix de la nature & ſe trouve ſoûtenuë par la façon dont la Poudre s'enflâme. J'en ai brûlé pluſieurs fois pour l'examiner, & M[r] de Belidor rapporte dans un Memoire ſur ce ſujet pluſieurs expériences que j'ai faites avec lui, & qui me determinent entierement en faveur de ce ſyſtême; on voyoit ſenſiblement des petites parties de feu d'un grand éclat, qui circuloient avec une extrême rapidité, & enflâmoient en creuſant en forme de demie Sphere, les parties d'une maſſe de pulverin humide & ſeré, pour que l'on pût remarquer plus facilement l'action du feu.

Cette connoiſſance ne donne point

la maniére de fixer la viteſſe de l'inflammation : elle eſt differente dans toutes les traînées d'égale longueur, mais dont les largeurs ſont differentes. Des expériences faites avec ſoin, ont fait connoître que les viteſſes de l'inflammation de ces deux traînées, étoient en raiſon ſouſtriplée des quantités. On connoît aſſez la génération du feu, pour ſçavoir qu'il eſt cauſé par de petits tourbillons de la matiére ſubtile, qui ſont rompus, & qui communiquent du mouvement aux parties groſſieres, qui ſervoient, pour ainſi dire, d'enveloppes à ces tourbillons ; ainſi l'on peut juger à peu près de la viteſſe avec laquelle ces petits mobiles ſont mûs, puiſque la matiére ſubtile qui circule au-tour de la terre, fait environ 4055 toiſes par ſeconde ; cependant la viteſſe de l'inflammation d'une traînée, ne peut point aprocher de cette rapidité, à cauſe

de la resistance de l'air, & je pense que sa plus grande vitesse est indeterminable. Le rapport que l'on connoît dans les tems de l'inflammation de deux traînées, suffit pour voir combien rapidement la Poudre s'enflâme dans un globe qui en est rempli, & où l'on suppose le feu porté au centre; sa force contre les parois exprimée par l'unité à la fin de la premiere tierce, est au moins un milion de fois plus grande à la fin de la dixiéme.

Mais cette force avec laquelle le feu de la Poudre agit contre les surfaces des capacités, n'est point la mesure de la force qui fait rompre, elle en dépend seulement. Cet effort dilaniateur est déterminable autant que l'on connoît éxactement les figures des capacités. Je n'ai fait cette recherche que sur les logemens spheriques & cilindriques: dans les Spheres l'effort qui tend à

faire rompre, eſt moitié de l'effort total; de-là on voit combien dans une bombe & une grenade, par exemple, toutes deux pleines de Poudre, il eſt aiſé de déterminer l'une par l'autre l'épaiſſeur convenable; les chaleurs & les condenſations ſont égales dans ces deux capacités; ainſi les preſſions totales y ſont dans le raport des ſuperficies, puiſque de part & d'autre les tourbillons ont une égale force centrale; mais dans la Sphere l'effort dilaniateur eſt moitié de l'effort total, les quantités de métal à déchirer, ou les plans de rupture doivent donc être dans le raport des ſuperficies.

Pour déterminer l'épaiſſeur, il faut avoir recours à quelque expérience qui donne le plus grand poids que peut ſoûtenir ſans ſe rompre un morceau du métal dont ces corps ſont coulés, & rechercher en

en même tems avec quel poids eſt en équilibre la force d'une certaine quantité de Poudre agiſſante contre une ſurface connuë. On réduit de la ſorte en poids les efforts de la Poudre, & l'on parvient à fixer ſes juſtes épaiſſeurs: Tout ceci eſt applicable aux chambres cilindriques: Quand on aura connu quelle eſt la force dilaniatrice qui peut faire fendre un cilindre, je démontrerai que l'effort total dans un cilindre ou ſur un cercle ſeul du cilindre, eſt à l'effort qui déchire, comme la circonference eſt au rayon; car la longueur du cilindre n'a rien de commun avec l'effort dilaniateur, quand on ſupoſe que les tourbillons qui apuïent ſur la ſurface cilindrique, n'ont pas plus de force que ceux qui apuïent ſur un ſeul cercle, & cela eſt toûjours vrai dans le même cilindre: cet effort connu on déterminera le rectangle de déchirure en ſe

ſervant des experiences que je ſu-poſe faites ſur un métal ſuffiſamment échauffé.

La chaleur amolit & diminuë conſiderablement la reſiſtance des fibres du métal; il me paroît qu'on n'a jamais eû aſſez égard à cet accident, & c'eſt de-là que nous vient la courbure de nos piéces, à laquelle il n'y a que deux moyens de remedier : Le premier, eſt de chercher quel eſt le meilleur alliage que l'on puiſſe faire des métaux qui entrent dans la fonte des piéces; ce ſont des experiences qu'il faudroit avoir ſoin de repeter à chaque fonte, car il eſt certain que les métaux de même nom ne ſont pas parfaitement homogêne : Ainſi on peut ſe tromper dans l'uſage où l'on eſt d'employer tant de parties de chaque métal. On s'attache trop ſérieuſement à de certaines pratiques : la fonte corrigée de ce côté, il faut

que l'épaiſſeur faſſe le reſte. La bonté de la piece dépend d'un mélange plus difficile à fondre & de l'épaiſſeur qu'éxigent la force de la Poudre & la peſanteur de la volée.

Il eſt facile de déterminer l'épaiſſeur à la culaſſe en ſupoſant que la Poudre enflâmée occupe un inſtant la place des grains; c'eſt dans cet état que la condenſation & la chaleur étant plus grandes, elles ont plus de force, & cette ſupoſition eſt à l'avantage de la pratique. Mais pour déterminer l'épaiſſeur à la volée, il faut recourir à des experiences ſur la portée, & fixer les longueurs des pieces. Je prends pour éxemple de la route qu'on peut ſuire, les épreuves qui furent faites autrefois à Dunkerque ſur des piéces de canon de 10 pieds de long: Je montre comment par la connoiſſance de la portée on vient à celle de la vîteſſe uniforme des boulets, & à

la détermination du raport des forces employées à cet effet, car la poudre n'agit ſur le boulet que par ſon excès ſur la réſiſtance de l'air, pendant qu'elle agit ſur la piéce par toute ſa force. Ce que l'on dit ſur la vîteſſe des boulets ne donne point la meſure éxacte de la quantité de poudre enflâmée, & on s'aperçoit ſeulement qu'elle s'enflâme en plus grande quantité & plus promptement dans les piéces d'un gros calibre, que dans les petites; ce qui fait voir qu'il ne faut pas regler les longueurs par la hauteur des cilindres de poudre que forment les charges, mais qu'il eſt à propos au contraire de déterminer la longueur de chaque calibre ſelon que peut l'éxiger la facilité de la manœuvre, & faire couler une piéce de chacun aſſez forte en métal, pour qu'il n'arrive point d'accident dans les épreuves, la tirer enſuite ſous 45 degrez avec des

charges differentes, & s'en tenir à celle qui aura donné la plus longue portée comme étant la charge convenable pour une telle piéce. Je voudrois donc qu'on reglât la charge par la longueur & non point la longueur par la charge. Ces deux choſes fixées il eſt facile de déterminer l'épaiſſeur du métal, pour réſiſter à l'effort dilaniateur, mais cela ne ſuffit pas: Il faut remarquer que nos piéces ne manquent jamais dans les premiers coups à moins qu'elles ne ſoient mal coulées; preuve certaine que leur épaiſſeur eſt ſuffiſante pour ces coups: Mais il arrive que la piéce s'échauffant elle ſe courbe d'autant plus que la fonte eſt plus molle, & l'on eſt obligé de couper les piéces au collet, deſlors elles ceſſent de rendre le ſervice qu'on en attendoit: Il n'eſt pas neceſſaire de chercher bien loin des exemples de ce que je dis: ſouvent même la piéce ſe cour-

be tellement que le boulet trouvant une réſiſtance trop grande dans la volée, elle crêve. On rafraîchit la piéce pour éloigner cet accident ; mais on peut y réüſſir autrement ; Il faut éxaminer la cauſe du mal, qui vient premierement de la fonte dont il faudroit avoir ſoin que le mélange fut le plus propre à réſiſter en même tems au déchirement, & à la fuſion : En ſecond lieu, il faut prendre garde que la piéce portée ſur ſon affut, tout le poids de la volée ſe raſſemble dans ſon centre de gravité, & agit d'autant plus puiſſament que ce centre eſt éloigné de l'apui. Cette peſanteur multipliée par cette diſtance eſt l'expreſſion de la puiſſance qui tend à faire rompre la piéce dans un plan qui ſépareroit la volée du reſte de la piéce ; c'eſt la réſiſtance du métal qui s'oppoſe à cette puiſſance : cette réſiſtance eſt aſſûrément aſſez grande quand

la piéce n'eſt point échauffée, mais la chaleur en relâchant les fibres, les rend propres à s'alonger : Il paroît donc convenable de meſurer l'épaiſſeur neceſſaire aux piéces ſur la réſiſtance du métal échauffé ; & c'eſt à quoi doit ſervir la derniere formule du memoire, elle n'eſt pas pas generale, mais le cas particulier que j'ai pris ſuivant l'hypotheſe de Mr Mariotte ſur les réſiſtances m'a ſuffi pour indiquer la route que je penſe qu'on doit ſuivre. D'ailleurs il eſt aſſez facile de trouver par des experiences les réſiſtances qu'oppoſent certaines tenſions : Elles forment neceſſairement une ſuite dont le raport des premiers termes fixera celui qui doit regner dans les termes ſuivans ; ainſi cette ſuite connuë au lieu de multiplier chaque bande de fibre par ſa diſtance à l'apui, priſe pour ſa réſiſtance, on la multipliera par le terme de la ſuite

qui marque ſa vraye réſiſtance, & qui repond à ce même terme de tenſion ou de diſtance par lequel le rang que l'expreſſion de la réſiſtance occupe dans la ſuite, eſt indiqué: On doit faire attention que toutes les réſiſtances ſe reüniſſent en un point ainſi que le poids dans le centre de gravité; & il faut que leur produit par la diſtance de ce centre de forcce à l'apui, ſoit au moins égal à la puiſſance qui agit contre-elle. On obſervera encore qu'en augmentant l'épaiſſeur du métal, on augmente auſſi le poids de la volée: Ainſi il faut donner cette épaiſſeur de telle ſorte que la puiſſance réſiſtante excede celle qui fait plier. Voila le moyen d'obvier à une trop prompte courbure, car on ne peut empêcher le métal d'être fuſible, c'eſt beaucoup de retarder cet effet, peut être même empêcheroit-on entierement cette courbure qui n'ar-

rive que par une certaine chaleur que le métal ne pourroit pas prendre ſi celle que la Poudre occaſione étoit répanduë ſur une plus grande maſſe.

Il eſt donc poſſible d'entrer dans un détail qui conduiſe à la perfection des bouches à feu, mais il faut fixer la qualité de la Poudre, il y en a de plus violente l'une que l'autre, & l'inconſtance ſur ce ſujet rendroit inutiles toutes les meſures que la précaution auroit fait prendre pour donner aux piéces de juſtes dimenſions : un petit changement dans la Poudre en fait un conſiderable dans les effets. On remarque que la même Poudre a plus de force dans un tems frais & un peu humide, que dans un tems chaud. C'eſt une ſuite neceſſaire de ce qu'elle n'a preſque point d'action dans la machine du vuide ; il lui faut de l'air pour agir, & quand la chaleur le dilate, le volume de

L'Air eſt neceſſaire à la Poudre.

celui qui eſt entre les grains, diminuë conſiderablement, & l'effet de l'inflammation eſt moindre. Un pied cube d'air peſe en été à peu près 7 dragmes 9 grains, & en hyver 14 dragmes&environ 19 grains: l'air eſt donc d'un reſſort double, & la moitié plus denſe en hyver, qu'en été. On ne peut pas conclure de-là que les portées doivent être en été moitié de celles de l'hyver, à cauſe de l'air qui eſt enfermé dans les grains même de la Poudre & qui ne varie pas de la ſorte; il y a ſeulement de la difference entre les portées. Peu de perſonnes ſe perſuadent que la Poudre ſoit ſi ſuſceptible des variations de l'air; l'on croit auſſi aſſez generalement que plus une piéce s'échauffe, plus la portée augmente, & que par cette raiſon on diminuë les charges après une ſuite de coups; aſſûrément ce n'eſt que pour ménager le métal.

Il n'eſt point neceſſaire pour expliquer les effets de la Poudre, d'entrer dans le détail des matieres qui ſervent à ſa fabrique, ni d'en faire une analyſe éxacte, il y a un degré de perfection à rencontrer, mais le découvrir eſt plûtôt l'affaire d'un Chimiſte que d'un Géometre auquel il ſuffit de ſçavoir que ce qu'on peut dire d'une certaine qualité de Poudre répond pour la théorie à ce que l'on peut dire d'une autre. Je paſſe donc à l'éxamen de ſes effets, ſans m'embarraſſer des matieres qui la compoſent ; je ferai ſeulement remarquer que l'air eſt abſolument neceſſaire à l'inflammation de la Poudre ; elle ne prend feu qu'avec beaucoup de peine dans la machine pneumatique lorſqu'on en a pompé l'air, elle n'y fait point de détonation ni d'effet, ainſi la matiere de la Poudre enflâmée eſt un fluide qui n'a point d'action s'il ne fermente,

pour ainſi dire, avec l'air. Les effets d'une Poudre uſée le prouvent encore bien ; elle perd ſa force en vieilliſſant quand elle eſt mal enfermée, parce qu'en communiquant avec l'air exterieur, il arrive que par la ſuite & les changemens des tems, pluſieurs petits reſſorts de l'air qui étoient auparavant reſſerrez dans ces grains & qui faiſoient effort pour ſe débander, ſe dilatent inſenſiblement, & c'eſt de ce relâchement que vient la variation de la vieille Poudre, parce qu'il s'évapore une grande partie de cet air : cela eſt ſi vrai que pour reparer cette Poudre que je ſupoſe avoir été bien faite & n'avoir point trop déperi, on ne fait que la rebattre; par cette opération on y fait rentrer de l'air, & elle prend enſuite une nouvelle force de reſſort. Maintenant je vais entrer dans le détail & le calcul des choſes que je n'ai fait qu'indiquer juſques à preſent.

La Poudre enflâmée peut être considerée comme un fluide assez semblable à l'air, susceptible d'un mouvement violent & capable d'un grand ressort, c'est sous l'idée que donne cette définition que j'en éxaminerai les effets.

Maniére de considerer la Poudre enflâmée : Elle forme des tourbillõs.

Si l'on imagine un globe infléxible plein de Poudre, tous les interstices de ses grains seront remplis d'air, je supose qu'elle y soit maintenant toute enflâmée, on conçoit :

1°. Que toutes les parties grossieres qui composent la Poudre, recevront par la fermentation un mouvement qu'elles n'avoient pas & qu'elles seront emportées çà & là dans la capacité par le mouvement violent de la matiére subtile.

2°. Que ces petites parties emportées de la sorte par le cours de cette matiere, recevront selon leur inégalité tout le mouvement dont elles

feront fufceptibles, car les corps emportez par un fluide n'acquerent la viteffe du fluide que lorfque leur pefanteur fpecifique eft moindre ou égale à celle du fluide; dans les autres cas ils recevront une viteffe proportionnée à ce qui les en rend plus ou moins capables, foit groffeur, foit afperité &c.

3°. Que fe portant enfuite par leur rencontre un obftacle mutuel qui les détourne inceffamment de mouvement rectiligne, qu'elles fuivroient naturellement, elles font obligées de décrire quelque courbe.

4°. Que celles qui auront une même viteffe feront déterminées à circuler enfemble fur quelque furface courbe.

5°. Qu'enfin il fe formera un nombre infini de petits tourbillons qui pourront tous être emportez vers quelque côté par un mouvement commun & qui de plus auront un

mouvement particulier ſur leur propre centre afin de ſatisfaire à tout celui que la matiere ſubtile leur imprime.

6°. Qu'il ne faut point de tems fini pour que cet arrangement ſe faſſe ; tout y concourt dans le moment même de l'inflâmmation.

Cette formation eſt ſimple & naturelle.

La nature nous offre un grand nombre d'éxemples ſenſibles de ces tourbillons & il n'y a perſonne qui n'ait remarqué ceux qui ſe forment dans le courant des rivieres quand quelque obſtacle s'oppoſe à la direction de l'eau , ou ceux que le vent fait naître de la pouſſiere qu'il enleve.

Cette idée reçûe, & qui paroît dans ſa ſimplicité conforme aux loix de la nature , devient le principe d'une théorie qui ſervira à expliquer d'une façon aiſée les effets ſurprenants de la Poudre.

Dans cette infinité de tourbillons

que renferme ce globe infléxible, il y en a de differens ordres selon les differens ordres de grosseur ou d'aspérité des petits mobiles circulans, & ceux d'entre eux qui auront reçû des vitesses égales formeront des tourbillons égaux comme on le verra par une suite necessaire.

Mais ces petits mobiles contraints de circuler sur des surfaces courbes sont disposez à s'étendre par leur force centrifuge, & décrivent conséquemment les plus grands cercles qu'ils peuvent, d'où il arrive que la capacité du globe est bien-tôt remplie de ces tourbillons de differens ordres, lesquels y sont indifferemment répandus, en telle sorte cependant que ceux d'un ordre inférieur remplissent les interstices que laissent entr'eux ceux d'un ordre supérieur, & tous ces petits tourbillons sont spheriques.

On peut considerer

Car si l'on examine d'abord trois tour-

tourbillons qui ſe touchent, ils laiſſeront entr'eux un eſpace angulaire qui ſera en un inſtant rempli par un nombre de petits mobiles qui ſe détacheront de leurs tourbillons pour remplir ce vuide, & qui y conſerveront toûjours un mouvement ſur leur centre, entretenu par le flux de la matiere ſubtile, & par la rencontre des mobiles qui formeront les tourbillons dont ils ſe ſeront ſeparez ſans que ces tourbillons ayent changé de figure; parce que les mobiles qui ſuivoient immediatement ſur la ſurface ceux qui rempliſſent actuellement l'eſpace angulaire, ne ſont point neceſſitez à les y ſuivre, ils continüent au contraire leur route par un arc ſemblable à celui qu'ils décrivoient & qui eſt le plus court qu'ils puiſſent parcourir eû égard à la force centrale qui éloigne également chaque point du centre, & à la reſiſtance ou preſſion égale des

Les petits tourbillons comme ſpheriques.

parties qui enveloppent ce tourbillon, & qui ne peuvent plus permettre que ces mobiles prennent une route differente de celle qui maintient un ordre naturel & l'équilibre, tous les petits tourbillons conſerveront donc leur ſphéricité.

Force centrifuge des tourbillons

Cela poſé, la force centrifuge d'un mobile quelconque décrivant un arc de cercle, eſt égale au quarré de de ſa vîteſſe diviſé par le rayon de ſon cercle de révolution, c'eſt-à-dire $\frac{uu}{z}$, car la force avec laquelle un mobile preſſe une courbe ſur laquelle il ſe meut uniformement, eſt exprimée par le ſinus de l'angle formé par un côté infiniment petit, & la tangente à la courbe; cette force eſt conſtante ſi le mobile décrit un cercle, puiſque tous les angles de contingence & les côtez du polygone infinitaire, ſont égaux. On peut exprimer cette force par u, qui eſt la

vîtesse même du mobile, puisqu'elle en dépend. Cette vîtesse étant par tout la même, la force centrifuge devient d'autant plus grande, que le mobile parcourt en un même tems plus de côtez qui le détournent sans cesse; & le nombre de ces côtez parcourus dépendant aussi de la vîtesse, *u* peut encore en marquer le raport, & l'on a pour cette force $F = u \times u = \frac{uu}{1}$. Si le même mobile avec la même vîtesse *u* parcouroit des cercles differens, on conçoit que la force centrifuge seroit differente dans les deux cercles; car le nombre des côtez parcourus, ou des chocs contre les côtez, diminuëroit par l'augmentation de grandeur des côtez du polygone; mais les cercles étant tous semblables, ont un égal nombre de côtez, & ils sont dans le raport des rayons: ainsi le rayon doit entrer dans l'expression de la force centri-

fuge pour la modifier; & puisque cette force est d'autant plus grande, avec la même vîtesse, que le mobile donne plus de coups, & au contraire d'autant plus petite qu'il en donne moins, cette force doit être exprimée par une fraction dont le numerateur est le quarré de la vîtesse du mobile, & le dénominateur le rayon de revolution ou du cercle parcouru : On a donc généralement $\frac{uu}{z}$ pour l'expression de la force centrifuge d'un mobile décrivant un cercle.

Force centrale.

En considerant un seul petit tourbillon, on voit que les mobiles égaux qui circulent sur sa surface & qui ont des vîtesses égales, n'y peuvent pas décrire des arcs d'une égale courbure; car il faudroit qu'ils se croisassent continuellement. Ces petites parties sont donc necessitées par leur rencontre à suivre sur la surfa-

ce des tourbillons des routes paralelles entr'elles, & à circuler ſur des circonferences de cercles perpendiculaires à l'axe de révolution du tourbillon.

. Soit un tourbillon A D B E dont la ſuperficie eſt couverte de petits mobiles égaux & ſuſceptibles d'une égale vîteſſe qu'ils ont reçûs. Ces petits mobiles doivent y décrire des cercles paralelles & perpendiculaires ſur un axe de révolution AB ; alors leur force centrifuge eſt d'autant plus grande, que le rayon du cercle qu'ils parcourent eſt plus petit. L'expreſſion de cette force n'eſt point celle de la force centrale avec laquelle les points de la ſuperficie du tourbillon ſont preſſez perpendiculairement. Suppoſons au point D, un petit mobile qui décrit le cercle dont le diametre eſt DE, & un plan F D tangent au point D au tourbillon, la force centrifuge du point D

Figure premiere.

eſt $\frac{uu}{DG}$. Ce n'eſt point par cette force dont la direction eſt G D, que le plan tangent eſt preſſé, elle agit contre lui obliquement : Mais ſi du centre G on abaiſſe ſur ce plan la perpendiculaire GF, elle exprimera la force centrale de ce point. La force centrifuge eſt donc à la force centrale, comme GD à GF, ou comme CD à GD ; c'eſt-à-dire comme le rayon du tourbillon eſt au rayon du cercle de revolution d'un mobile : ceci eſt general. On tire de cette analogie, que la force centrifuge & la force centrale d'un point de l'équateur d'un tourbillon, eſt égale, puiſqu'alors CD = GD, car DG tombe ſur IC.

Il faut à preſent faire voir que la force centrale de chaque point, eſt égale : Soit le point H pris à volonté, qui décrit dans le même tourbillon un petit cercle paralelle au

cercle D E. La force centrifuge de ce point eſt à ſa force centrale comme CH à HL, ce qui ſembleroit montrer que la force centrale diminuë à meſure que le mobile décrit un plus petit cercle, & que le point de la ſurface du tourbillon en eſt moins preſſé. Mais ſi l'on fait attention que plus le cercle eſt petit (la vîteſſe reſtant la même) & plus de fois la revolution eſt repetée, puiſque les mobiles font un chemin égal, on trouvera que la réïteration des chocs compenſe le deffaut de l'obliquité ; & en ſuivant ſimplement l'analogie précedente, on découvre que la force centrifuge du point D, étant $\frac{uu}{DG}$ ſa force centrale eſt $\frac{uu}{CD}$, & que la force centrifuge du point H étant $\frac{uu}{HL}$ ſa force centrale eſt auſſi $\frac{uu}{CD}$ Donc la force centrale de tous les points d'un tourbillon eſt égale, & ils ſont également preſſez du centre

à la circonference, suivant la direction du rayon du tourbillon.

Puisque la force centrale d'un point de l'équateur d'un tourbillon est égale à la force centrifuge de ce point & que la force centrale de chaque point est égale, en nommant z le rayon d'un grand cercle d'un tourbillon, & u la vîtesse du mobile qui le décrit, $\frac{uu}{z}$ exprimera generalement la force centrale d'un tourbillon.

Equilibre necessaire.

Toute la capacité étant remplie de ces tourbillons qui cherchent à s'étendre, ils se presseront mutuellement, & l'équilibre en resultera dans l'instant. Car les plus forts ne peuvent s'agrandir qu'ils ne ressert ent en même tems les plus foibles & qu'ils ne les réduisent à un moindre volume: d'où il arrivera que les petits mobiles contraints à parcourir des cercles plus petits, acquere-

ront une augmentation de force centrifuge qui deviendra enfin telle que le tourbillon qu'ils forment, s'opposera à une pression plus grande : l'action & la réaction sera donc égale.

Dans cet état d'équilibre l'effort contre les parois du globe infléxible doit se mesurer par la force d'un tourbillon multipliée par le nombre de ceux qui y apuyent.

Un tourbillon ou un milieu rempli de tourbillons est un fluide élastique, que l'on peut considerer comme composé d'un nombre de ressorts qui se servent mutuellement d'apuy : Or il ne faut pas moins de force pour arrêter un seul ressort à une certaine tension, que pour en retenir un plus grand nombre d'égaux en force dans une tension pareille. Car, concevant une puissance en équilibre avec le ressort qui est seul, elle lui est égale; & concevant de même une autre puissance

en équilibre avec la ſuite des reſſorts, il eſt manifeſte que chaque point où les reſſorts ſe touchent, peut être regardé comme un point inébranlable, ou comme des points dont la réſiſtance eſt égale entr'elle & à la puiſſance qui fait la fonction d'un apuy ſur le dernier reſſort. On peut donc par chacun de ces points ſupoſer un plan, & l'on voit évidemment par ce détour que la puiſſance ne ſoutient l'effort que d'un ſeul reſſort : Et ſi l'on conſidere un plan chargé de reſſorts égaux, on voit que leur effort contre ce plan doit être eſtimé par la force d'un ſeul reſſort multipliée par le nombre ſeulement de ceux qui apuyent.

Ainſi dans notre Globe les tourbillons ayant une force égale exprimable par celle d'un tourbillon quelconque $\frac{uu}{2}$, prenant u pour marquer le nombre de tourbillons qui apuïent

contre les parois de la capacité $\frac{uu}{2} \times u$ sera l'expression de l'effort qu'elle aura à soûtenir.

Maintenant nommant q la quantité de fluide élastique renfermé dans une capacité, c la capacité, & s sa surface : Le nombre des tourbillons enfermez dans cette capacité peut être exprimé par la quantité même du fluide $= q$ car il est naturel que ce nombre soit toûjours proportionnel à la quantité du fluide.

Expression generale des efforts de la Poudre, en n'emploiãt que des grandeurs connuës avec le quarré des vîtesses des mobiles.

La grandeur des tourbillons est en raison composée de la directe des capacitez, & de la renversée des quantitez, $\frac{c}{q}$ exprime éxactement cette grandeur.

Les rayons des tourbillons sont en raison sous-triplée des mêmes tourbillons $z = \sqrt[3]{\frac{c}{q}}$.

Le nombre u des tourbillons qui apuyent contre une surface est aussi

toûjours exprimable par la raiſon composée de la directe de la ſurface & de la raiſon renverſée du quarré du rayon $u = \frac{f\sqrt[3]{q^2}}{\sqrt[3]{c^2}}$

L'effort du fluide contre les parois de la capacité qui le contient eſt donc $\frac{uu}{2} \times u = \frac{fq}{c} u^2$ ou ſimplement $\frac{q}{c}$ lorſqu'on ſupoſe une même chaleur, & que les effets ſe font dans les machines contre des orifices ou diaphragmes égaux: Par cette formule on rend raiſon de l'experience qui a fait connoître la proportion conſtante entre les élaſticitez & les denſitez.

La chaleur augmente la force des fluides.

On ne conçoit point que la chaleur puiſſe venir d'ailleurs que de la vîteſſe des mobiles circulans: Ainſi cette vîteſſe devient la meſure du degré de chaleur, & l'on ſçait qu'à meſure qu'elle augmente ou diminuë, ſes effets varient auſſi ſelon les

modifications que *u* apporte à la force centrifuge.

Si l'on donne à un fluide comme l'air un nouveau degré de chaleur tout étant d'ailleurs égal, capacitez, quantitez, ſuperficies ou diaphragmes, les efforts ſeront entr'eux, comme $\frac{fq}{e}u^2 . \frac{fq}{e}u^2 :: u^2 u^2$. D'où l'on déduit que les intenſitez de la chaleur ſont en raiſon ſous-doublée des puiſſances avec leſquelles les fluides échauffez ſont en équilibre, & dans le calcul on peut toujours mettre ces puiſſances au lieu du quarré des vîteſſes.

Ceci peut donner occaſion à pluſieurs remarques au ſujet de la chaleur ; en voici une : Sçavoir, que nons nous trompons toûjours à la meſure du degré de chaleur, la croyant beaucoup plus grande qu'elle n'eſt réellement, les degrez augmentant ſeulement comme les nom-

Erreur où l'on tombe au ſujet des chaleurs.

bres naturels, & ses effets par lesquels nous en jugeons suivant la proportion de leurs quarrez.

Ainsi on appercevra qu'un degré fini de chaleur peut tres-facilement dissoudre ou brûler tout ce qu'il y a de plus dur au monde, comme on voit arriver au feu du Tonnere qui fond quelquefois des métaux, & calcine des pierres en ne faisant que les pénetrer en passant avec rapidité à travers leurs pores : car si l'on considere la suite naturelle des nombres jusqu'au premier infini dernier terme de la suite naturelle & la suite infinie de leurs quarrez, on appercevra que la suite naturelle n'étant que d'un ordre, celle des quarrez sera necessairement de deux, c'est-à-dire du fini, & de l'infini : De plus la difference des termes de la progression des quarrez étant considerablement plus grande que celle des nombres na-

turels qui ne se surpassent l'un l'autre que d'une unité, tandis que celle-ci va par des sauts toujours croissants; on voit encore que la plus grande partie des nombres naturels ont leurs quarrez dans l'ordre de l'infini, car tous les nombres pouvant être regardez comme des nombres quarrez, le dernier de la suite naturelle, consideré de la sorte, a sa racine dans les nombre précedens, ou entre deux de ces nombres consécutifs, & cette racine finie est bien au-delà du terme moyen vers l'origine.

Cette connoissance que l'on a de la mesure des degrez de chaleur donne un moyen facile de les comparer en les rapportant à un terme fixe comme l'unité dans les nombres: On peut prendre, par éxemple, la chaleur de l'eau boüillante pour ce terme. Il est vrai que l'on conçoit qu'un corps en mouvement

peut en acquerir un plus grand ; mais l'expérience apprend que l'eau boüillante n'est susceptible que d'un degré qu'elle ne passe jamais. Je reviens à mon sujet.

La force d'un fluide élastique doit s'estimer par sa densité & sa chaleur.

Deux choses contribüent à augmenter la force d'un fluide élastique, la densité & la chaleur. On voit donc generalement qu'en composant les deux raisons qu'on a trouvées, on aura la mesure éxacte des forces des fluides differemment denses, & differemment échauffez.

Or il est certain que les chaleurs sont differentes dans deux capacitez égales dans lesquelles il y aura des quantitez inégales de Poudre enflâmée ; on le peut voir sensiblement par la chaleur differente que l'on sent en touchant un canon après avoir brûlé dedans des charges fort inégales ; & deux volumes inégaux de fer rouge plongez dans une quantité égale d'eau, donnent assûrément

aux

aux mêmes diſtances des chaleurs bien differentes. Enfin il eſt conſtant que plus il y aura de parties également agitées dans le même eſpace, & plus il y aura de chaleur, puiſque la chaleur & le mouvement des parties ſont la même choſe, ou du moins que l'une n'eſt cauſée que par l'autre.

Les intenſitez de la chaleur ſont comme on a vû dans la raiſon ſouſdoublée des poids ou puiſſances que le fluide differemment échauffé eſt devenu en état de ſoûtenir, ou ce qui eſt la même choſe, *comme les racines des cauſes qui produiſent les chaleurs*; par cet axiôme que les effets ſont toûjours proportionnels à leurs cauſes; de ſorte qu'on pourra mettre ces cauſes pour u^2. Ici les effets ſont les poids ſoûtenus par la nouvelle élaſticité, & ce qui donne cette force au fluide, eſt la choſe même qui augmente la chaleur.

Dans la Poudre il y a deux cho-

ſes qui contribuent enſemble ou ſéparément au changément des degrez de chaleur : Sçavoir, les quantitez & les capacitez.

Si l'on compare deux capacitez égales, il eſt certain que dans ce cas les quantitez étant ſuppoſées differentes, la denſité du fluide qui contribuë à une partie du reſſort, eſt exprimée par $\frac{q}{c}$ & $\frac{Q}{c}$. La chaleur qui contribuë à l'autre partie en agiſſant conjointement avec la denſité, acheve de donner au fluide toute l'élaſticité poſſible : les effets de cette chaleur cauſez par u^2 ſont d'autant plus ou moins grands que la cauſe, c'eſt-à-dire, la quantité du fluide eſt plus ou moins grande, ainſi on peut mettre la quantité du fluide pour le quarré de la viteſſe, puiſque le nouveau reſſort cauſé par u^2, en dépend ; on déduira donc de la formule $\frac{fq}{c}$ u^2 cette autre $\frac{fq^2}{c}$, en

mettant q pour u^2, & l'on voit que *les pressions contre les surfaces ou diaphragmes égaux s, sont entr'elles comme les quarrez des quantitez, lorsque les capacitez sont égales.*

Si l'on compare deux capacitez inégales dans lesquelles il y ait des quantitez égales de poudre enflâmée, & qu'on suppose toûjours l'effet contre des diaphragmes égaux, les densitez seront comme à l'ordinaire exprimées par la raison composée de la directe des quantitez & de la renversée des capacitez par $\frac{q}{c}$ & $\frac{q}{C}$. Mais les chaleurs qui causent un nouveau degré d'élasticité, seront differentes, puisqu'elles sont appliquées & répanduës dans des espaces differens, consequemment leur effet provenant de u^2 sera different, mais proportionnel & exprimable par ce qui a causé du changement à la chaleur : On pourra donc mettre ces causes dans les

formules $\frac{fq}{c}u^2$, $\frac{fq}{C}v^2$ au lieu du quarré des viteſſes. Or dans ce cas-ci où les quantitez ſont égales, les élaſticitez cauſées par u^2 v^2 ſont en raiſon renverſée des capacitez, puiſque ces capacitez ſont les ſeules choſes qui modifient les chaleurs; on peut donc mettre $\frac{1}{c}$ pour u^2 & $\frac{1}{C}$ pour v^2, & les formules $\frac{fq}{c}u^2$, $\frac{fq}{C}v^2$ ſe réduiſent à $\frac{fq}{c^2}=\frac{1}{c^2}$ & $\frac{fq}{C^2}=\frac{1}{C^2}$. Donc, *les forces d'une égale quantité de poudre agiſſante dans des capacitez differentes & ſur des ouvertures égales, ſont entre-elles en raiſon doublée renverſée des capacitez.*

J'ai démontré la choſe par elle-même, en conſiderant ſimplement ce qui arrive dans ces deux capacitez. Mais la liaiſon des principes que je viens d'établir, eſt telle, que je vais encore démontrer ce même cas, par le premier dont je le dédui-

rai. Soient toûjours conçûës deux capacitez inégales dans lesquelles il y ait des quantitez égales de poudre (les diaphragmes supposez égaux) les formules sont $\frac{q}{c} u^2$ & $\frac{q}{C} v^2$. Si dans les deux capacitez il y avoit des quantitez de poudre dans le raport de c à C, on apperçoit que les densitez & les chaleurs y seroient égales de part & d'autre : Faisant donc cette analogie $c . q :: C \frac{Cq}{c}$, ce 4e terme $\frac{Cq}{c}$ exprime une quantité de Poudre telle, qu'étant enflâmée dans la capacité C la chaleur & la densité y seroient égales à la chaleur & la densité de la capacité c & l'on a pour les formules de ces cas $\frac{\frac{Cq}{c}}{C} u^2$ & $\frac{q}{c} u^2$. Je compare $\frac{\frac{Cq}{c}}{C} u^2$ avec $\frac{q}{C} v^2$ & je remarque que les quantitez de fluide $\frac{C}{c} q$ & q étant differentes dans

des capacitez égales, les quarrez des viteſſes ſont exprimables par les quantitez; ainſi $u^2 = \frac{C}{c} q$ & $v^2 = q$ reprenant maintenant les deux premieres formules $\frac{q}{c} u^2$ & $\frac{q}{C} v^2$ & mettant au lieu de $u^2 v^2$ leurs valeurs, on trouve $\frac{q}{c} u^2 = \frac{Cq^2}{c^2}$ & $\frac{q}{C} v^2 = \frac{q^2}{C}$ or $\frac{Cq^2}{c^2} . \frac{q^2}{C^2} :: \frac{1}{c^2} . \frac{1}{C^2}$. Donc les preſſions contre des diaphragmes égaux dans des capacitez inégales dans leſquelles il y a une égale quantité de Poudre enflâmée, ſont entr'elles en raiſon renverſée, des quarrez des capacitez comme on l'avoit trouvé.

Lorſque les quantitez & les capacitez varient (on ſuppoſe encore f égale de part & d'autre) $\frac{q}{c}$ & $\frac{Q}{C}$ expriment toûjours les élaſticitez cauſées par les denſitez ſeulement, & celles qui ſont cauſées par la chaleur ſeront exprimées par u^2 & v^2. Mais l'on voit par l'examen de ce

cas, que chaque quarré des vîteſſes eſt inexprimable par la raiſon compoſée de la directe des quantitez & de la renverſée des capacitez $\frac{q}{c} = u^2$ & $\frac{Q}{C} = v^2$ car il faut neceſſairement faire entrer à preſent dans les valeurs du quarré des vîteſſes les deux grandeurs qui modifient les chaleurs ; On aura donc, que *ſi les capacitez & les quantitez varient, les effets contre des parties égales de ſurfaces, ſont en raiſon composé de la directe doublée des quantitez & de la renverſée doublée des capacitez.*

On trouve la même choſe en recherchant le cas preſent par les deux précedens, les formules ſont $\frac{q}{c} u^2$ & $\frac{Q}{C} v^2$, ſupoſons qu'il y ait dans la capacité C au lieu de la quantité Q ſeulement la quantité q de Poudre, les deux formules ſeront $\frac{q}{c} u^2$ & $\frac{q}{C} u^2$ qui ſe réduiſent par le ſe-

cond cas à $\frac{q}{c^2} = \frac{1}{c^2}$ & $\frac{q}{C^2} = \frac{1}{C^2}$, car on a eû $\frac{q}{c}u^2 . \frac{q}{C}u^2 :: \frac{1}{c^2} . \frac{1}{C^2}$ comparant presentement la formule $\frac{q}{C}u^2$ avec $\frac{Q}{c}V^2$ elles se réduiront par le premier cas à q^2 & Q^2 c'est-à-dire, $\frac{q}{C}u^2 \frac{Q}{C}V^2 :: q^2 . Q^2$: Or en composant ces deux raisons on aura $\frac{q}{c}u^2 \times \frac{q}{C}u^2 . \frac{q}{C}u^2 \times \frac{Q}{C}V^2 :: \frac{q}{c}u^2 . \frac{Q}{C}V^2 :: \frac{q^2}{c^2} . \frac{Q^2}{C^2}$ & c'est le même raport qu'on avoit déja découvert. Donc, &c.

Formule génerale pour les efforts de la Poudre dans tous les cas.

La formule génerale est $\frac{fq}{c}u^2$, & il suit par les trois cas précedens que pour u^2 on pourra toûjours mettre $\frac{q}{c}$ car les chaleurs ne peuvent être modifiées que des trois manieres que nous avons examiné. Ainsi substituant $\frac{q}{c}$ au lieu de u^2 on aura pour nouvelle formule génerale $\frac{fq^2}{c^2}$, d'où l'on déduit directement que *si les*

capacitez sont égales les forces sont comme les quarrez des quantitez. C'est le premier cas.

Si les capacitez sont differentes & les quantitez égales, les forces sont en raison renversée des quarrez des capacitez : C'est le second cas.

Si les capacitez & les quantitez varient, les forces sont en raison composée de la directe doublée des quantitez, de la renversée doublée des capacitez. C'est le troisiéme cas.

On a toûjours supposé $\int$ égal, parce que l'extension de la superficie n'a aucun rapport avec la densité ni la chaleur qui ne dépendent, comme on a remarqué, que de la quantité & de la capacité. *S* entrera cependant toûjours dans la formule, il déterminera les efforts contre telles & telles surfaces selon les cas qu'on aura à examiner : Ainsi la formule $\frac{sq^2}{c^2}$ marquera en donnant

des valeurs differentes aux trois lettres *ſ*, *q*, *c*, le rapport éxact des forces de Poudre dans toutes les circonſtances poſſibles : On verra l'application & l'utilité de cette expreſſion dans toute la ſuite de ce Mémoire.

Superficies ſpheriques & cilindriques de plus grande réſiſtance.

Mais pour dire en paſſant un mot des ſuperficies, on fera faire cette remarque, que ſi les quantitez & capacitez reſtant les mêmes, les ſuperficies varient, alors les efforts qu'elles auront à ſoûtenir ſeront comme ces ſuperficies mêmes : D'où l'on voit que la capacité ſpherique ou cilindrique eſt celle qui reſiſte le mieux à l'inflammation d'une quantité déterminée ; ſuppoſons un orbe de métal, & un autre corps de même matiere & d'égale épaiſſeur, dont la capacité interieure ſoit égale à celle de l'orbe, ſa ſuperficie ſeulement ſera plus grande ; car de tous les corps le ſpherique eſt celui qui a

le moins de ſuperficie : donc la preſ-ſion contre les parois ſera moindre dans la ſphere, que dans un autre corps.

Une autre raiſon ſe joint à celle-ci qui fait voir que la Figure ſpherique eſt plus propre à reſiſter. Si l'on ſup-poſe deux plans rectilignes inégaux mais ſemblables, & dont tous les points peſent également, il eſt viſible que l'effort de tous les points ſe raſ-ſemble dans le centre de gravité de chacun de ces plans, & que le centre du plus grand eſt plus chargé que celui du petit. Appliquons cette ſu-poſition : On peut concevoir les ſu-perficies des corps comme compo-ſées d'une infinité de petits plans re-ctilignes tangens aux corps. Tous ces petits plans ſont égaux dans la ſurface de la ſphere : Et l'épaiſſeur du métal & la liaiſon de ſes parties étant égales, aucun de ces plans ne doit ceder plûtôt que l'autre à l'ef-

fort dont ils ſont chargez ; car cet effort eſt égal, puiſque chaque petit plan eſt tangent à un égal nombre de petits tourbillons qui preſſent perpendiculairement ſur ce plan par une même force centrale. Il eſt donc neceſſaire qu'ils réſiſtent tous, ou que cedans enſemble, toutes les parties de l'orbe ſe ſéparent à la fois, pourquoi il faudroit une force extrême. Dans l'autre Figure au contraire où il y en a au moins un plus grand que dans la ſphere, il n'y a point d'équilibre entr'eux, & la rupture ſe fait bien vite dans le plus grand plan, parce que ſon centre de gravité où l'effort ſe réünit, eſt plus chargé qu'aucun autre, ou ſimplement parce que le levier eſt plus long.

De même dans deux orbes ſpheriques inégaux d'égales épaiſſeurs, & dans leſquels il y aura des charges de Poudre dans la raiſon des ca-

pacitez, les tourbillons étant alors égaux, chaque point de la superficie intérieure n'est pas plus pressé & ne souffre pas plus d'effort d'un côté que d'un autre; cependant le grand orbe éclatera plûtôt que le petit. Cette espece de contradiction n'en est pas une dans la formule; elle fait voir que les pressions totales sont comme les surfaces: elle fait voir encore que chaque point est également pressé. Il ne faut pas en éxiger d'elle davantage: c'est à nous de remarquer que concevant un égal nombre de plans semblables infiniment petits dans les surfaces des deux orbes, l'aire des plans du grand est à l'aire des plans du petit dans la raison des surfaces mêmes, ces plans contiendront donc plus de points pesants, que les petits, & leur centre de gravité plus chargé, sera contraint de ceder & d'être enfoncé plûtôt. Si l'on veut donc que ces orbes résis-

tent également il faudra leur donner une épaisseur qui soit dans la raison de l'augmentation de l'effort dilaniateur ; c'est ce qu'on déterminera bien-tôt, mais auparavant il est à propos de dire encore quelque chose de l'inflammation & de reprendre le sujet que j'avois interrompu.

La Poudre s'enflâme en forme de sphere.

La découverte que l'on a faite de l'arrangement que prennent necessairement les parties de la Poudre enflâmée en formant des tourbillons, fait voir d'elle-même, indépendamment des experiences, que lorsqu'elle s'enflâme elle se dilate en forme de sphere & se répand également de tous côtez dans un milieu fluide homogene ; c'est le propre des tourbillons. Mais cependant consultons l'experience.

Premiere expérience.

Sur une table bien unie dans une chambre où tout étoit exactement fermé & où l'air par conséquent ne

formoit point de courans, on a mis dans le centre d'un grand nombre de cercles concentriques, une certaine quantité de Poudre, & sur la même circonference dans deux ou trois endroits éloignez au moins du du rayon, un peu de poulverin, il est toujours arrivé en mettant le feu au centre, que ces deux ou trois petits tas de poulverin, ou s'enflâmoient tous ensemble, ou qu'aucun ne prenoit feu.

Deuxiéme experience.

Voici une autre experience : On fait un cube avec six feüilles de papier colées proprement pour les assembler, au milieu de la feüille superieure on fait un trou quarré, l'on cole en-dessous par un côté seulement un papier plus grand que le trou & qui fait la fonction d'une soupape; par ce trou on descend jusqu'au centre du cube, un petit bassin attaché avec trois fils, & chargé de Poudre, ces fils réünis en un passent

par le milieu de la ſoupape, la tiennent fermée & l'on ſuſpend le cube par ce fil ; on met le feu à la Poudre par le moyen d'un morceau d'amadou qui paſſe à travers un petit trou fait au milieu du baſſin, un des bouts eſt dans la Poudre, celui du deſſous eſt allumé, lorſque le feu prend. Je ſuppoſe la charge ſuffiſante, la dilatation de la Poudre forme de ce cube une ſphere parfaite à l'exception de quelques inégalitez dans les endroits où le papier eſt double & colé.

Cette expérience peut ſervir à meſurer l'exploſion de la Poudre, en prenant pour plus de juſteſſe la quantité moyenne de Poudre entre celle qui a fait dechirer le cube & la derniere qui ne l'a point dechiré.

Il arrive en faiſant cette experience que le cube dans l'inſtant de linflammation s'éleve un peu, cet effet ne vient point d'aucune tendance qu'ait la Poudre pour agir en haut plus

plus que d'un autre côté, mais seulement de ce qu'elle y a agi plûtôt que vers le bas à cause du bassin qui a un peu retardé son action. Rien n'est indifferent dans les experiences. Le même effet peut venir encore de ce que l'impression de la Poudre sur le bassin tend le fil, qui venant ensuite à se rétablir par son ressort, soûleve la sphere.

J'ai trouvé de la Poudre qui augmentoit plus de 5600 fois son volume : On en a vû qui ne l'augmentoit que de 4000 fois.

Vitesse uniforme de l'inflammatiõ dans les traînées de même épaisseur.

La flâme parcourt une traînée de Poudre uniforme avec une vîtesse uniforme, des experiences réïtérées le confirment, & la théorie ne découvre point de raison pourquoi l'inflammation ne seroit pas telle. Une traînée de 20 pieds de long sur un pouce cube de Poudre par pouce courant, est une seconde à s'enflâmer totalement; elle sera deux secondes si la

traînée eſt de 40 pieds.

La vîteſſe eſt differente dans les traînées dont les groſſeurs ſont differentes.

Mais ſi l'on compare les vîteſſes de l'inflammation totale de deux quantitez inégales de Poudre formant deux traînées de même longueur uniformes chacune dans ſes parties, comme s'il y avoit à l'une 8 pouces cubes de poudre par pouce courant, & à l'autre un pouce ſeulement, les vîteſſes de l'inflammation ſeront en raiſon ſous-triplée des quantitez ; en voici la raiſon. Un grain de Poudre enflâmé à une dilatation déterminée, il augmente par éxemple 5000 fois ſon volume. Il en eſt de même d'une plus grande quantité : mais l'exploſion de la Poudre eſt ſpherique ; donc dans les quantitez differentes de Poudre de deux traînées dont les baſes ſont enflâmées dans le même inſtant, le feu eſt porté ſenſiblement à la fin du même inſtant à l'extrêmité du rayon des ſpheres d'activité, mais ces rayons

ſont en raiſon ſous-triplée des ſpheres ou des quantitez de Poudre, donc. &c.

Dans quel raport la force de la Poudre augmente en tems égaux

Pour donner une juſte idée de la prodigieuſe augmentation de force de la Poudre ſuivant les quantitez qui s'en enflâment, imaginons une ſphere de Poudre enfermée, ſi l'on veut, dans un orbe infléxible, qui lui ſerve d'enveloppe. Suppoſons le rayon diviſé en un nombre infini d'élemens égaux. Tous ces élemens ſeront les épaiſſeurs d'orbes inégaux, leſquels ſeront entre-eux comme la difference des cubes de leurs rayons; les épaiſſeurs des orbes peuvent être regardées comme les longueurs conſtantes de differentes traînées dont les baſes ſont les ſuperficies des orbes, mais ces baſes augmentent dans la raiſon des quarrez des rayons. Donc ces traînées doivent être parcouruës avec des vîteſſes qui ſeront entr'elles en raiſon

ſous-triplée des quantitez que le quarré du rayon peut exprimer, & les tems employez à l'inflammation de chaque traînée ſont dans le même raport, mais renverſé : les tems ſont donc exprimables par $\frac{1}{\sqrt[3]{z^2}}$, mais $\frac{1}{\sqrt[3]{z^2}}$ eſt une fraction qui diminuë par l'augmentation de z : Donc la flâme parcourt dans la ſphere des parties égales du rayon en des tems toûjours décroiſſans & réciproquement en des tems égaux, elle parcourt des eſpaces toûjours croiſſans ſur le rayon : Ainſi puiſque les parties parcouruës du rayon, croiſſent pendant que les tems ſont conſtans, & que les forces des quantitez de Poudre enflâmée dans une même capacité, ſont entr'elles comme les quarrez des quantitez ; elles ſeront donc en un plus grand rapport que les ſixiémes puiſſances des tems écoulez depuis le commence-

ment de l'inflammation. En se bornant à la sixiéme puissance de ces tems écoulez ou du rayon dont je supose pour cet effet que des parties égales sont parcouruës en tems égaux, on verra que si à la fin de la premiere tierce, la force ou l'impression contre les parois est exprimée par l'unité, elle sera 1000000 à la fin de la dixiéme.

Le quarré de la plus grande partie des nombres finïs, devient de l'ordre de l'infini, & la sixiéme puissance de ces mêmes nombres est de l'ordre ∞^3. Cette affreuse augmentation doit empêcher d'être surpris d'un nombre prodigieux d'effets dont la Géometrie développe le mistere.

Epaisseur des Piéces.

Pour rendre interessantes les remarques précedentes. Je vais les appliquer aux pieces, & rechercher quelle est l'épaisseur qu'il convient de leur donner pour résister à l'effort qu'elles ont à soûtenir.

Il eſt certain que de toutes les figures que l'on peut donner aux logemens de la Poudre, celle qui cauſera une inflammation plus promte ſera la meilleure. La chambre ſpherique a cette proprieté, car renfermant l'eſpace le plus grand ſous la moindre ſuperficie, tous les grains de Poudre y ſont plus raſſemblez, & ſi le feu pouvoit être porté au centre, on vient de voir quelle ſeroit la prodigieuſe augmentation de force, mais quand le feu ne ſeroit porté par la lumiére qu'à la ſuperficie, il eſt conſtant que la Poudre eſt plûtôt enflâmée dans cette chambre que dans toute autre. L'avantage des chambres ſpheriques ſur les autres vient donc de la promte inflammation qui donnant au boulet une plus grande vîteſſe, permet de racourcir la piéce aſſez conſiderablement, ce qui en rend la manœuvre & le tranſport plus facile; elles ſont auſſi generalement

Avantages des Chambres ſpheriques.

d'une moindre dépenſe ; avec ces grands avantages ces mêmes chambres ont des défauts qui les ont fait abandonner, & la pratique a décidé en faveur des pieces cilindriques pour le canon. Les chambres ſpheriques ſont tres-bonnes pour les Mortiers dans leſquels à cauſe du peu de longueur de leur axe, il eſt neceſſaire qu'une grande quantité de Poudre s'enflâme promtement pour chaſſer un poids comme une bombe. L'affut d'un mortier eſt toûjours aſſez maſſif pour réſiſter à l'effort & au tourment qu'occaſionne une inflammation tres-ſubite, & l'axe du mortier eſt aſſez court pour qu'on puiſſe porter la main au fond de la chambre pour la nettoyer. Ainſi le feu qui pourroit y reſter n'eſt point à craindre, au lieu que dans le canon il n'y a point d'écouvillon qui puiſſe nettoyer ces chambres, & il eſt ſouvent arrivé que dans l'obligation de tirer

Elles ſont dangereuſes pour le Canon.

yître, plusieurs Canoniers en chargeant ont eû les bras emportez.

Effort total dans la sphere duquel dépend l'effort dilaniateur.

Pour déterminer l'épaisseur qu'il convient de donner aux chambres des pieces, en commençant par la sphérique, il faut trouver l'effort dilaniateur dans une sphere, & pour cela considerer que les puissances opposées qui tendent à déchirer, agissent sur deux demies-spheres, & que la rupture ne doit pas arriver dans un point seulement, mais dans un cercle, je veux dire dans la plus grande couronne. Le globe est supposé plein de poudre. L'effort des petits tourbillons est toûjours perpendiculaire sur les points contre lesquels ils pressent ; ainsi supposant parfaitement unie la surface d'un orbe, les directions des pressions se rencontrent toutes au centre : Ce n'est point par la somme de ces pressions égales qu'un demi-orbe tend à être séparé de l'autre. Il faut décompo-

Figure 2.

ſer la preſſion perpendiculaire AB, exprimable par le rayon, en deux autres forces BC, BD dont les directions forment un angle droit & qui ſont égales aux deux côtez d'un triangle rectangle dont la force abſoluë d'un tourbillon, c'eſt-à dire, ſa force perpendiculaire exprimée par le rayon du globe, ſeroit l'hypotenuſe, & concevoir qu'une de ces forces BC agit paralellement au grand cercle dans lequel doit arriver la rupture, & cet effort n'y contribuë en rien. L'autre BD qui s'y employe entierement agit dans une direction perpendiculaire à ce plan, & conſequemment ces deux forces, dont une eſt perduë, preſſent obliquement contre la ſurface de l'orbe, ce qui rend celle qui eſt employée BD toûjours moindre que la force abſoluë BA, & d'autant moindre, qu'elle eſt placée plus deſavantageuſement, c'eſt-à-dire, que l'angle B

AD eſt petit : Ainſi cette force eſt exprimable par les ſinus de l'angle que fait le rayon B A ou l'effort perpendiculaire avec un rayon de la baſe A E qui ſe trouve dans le plan de rupture & ſur lequel l'effort DB, oblique à la ſurface & agiſſant pour déchirer, eſt perpendiculaire.

Figure 3. Ceci conçû, ſoit imaginé un quart de cercle *A B C* dont l'origine des coupées CP $=x$ ſoit au centre C & qu'il y ait une infinité d'ordonnées P M$=y$ perpendiculaires aux x ſur l'axe deſquels ſe fait la révolution. Chacun des y décrira dans ce mouvement un cercle dont la circonference ſera $\frac{Cy}{R}$ & ſi l'on multiplie cette circonférence par $\sqrt{dx^2+dy^2}= du$ élement de l'arc circulaire, on aura $\frac{Cy}{R}\sqrt{dx^2+dy^2}$ pour la valeur d'une zône infiniment étroite & qui eſt l'élement de la ſurface ſpherique ; mais $yy =$

$rr - xx$ par la proprieté du cercle, on a donc $dy = \frac{-xdx}{y} = \frac{-xdx}{\sqrt{rr-xx}}$, & $dy^2 = \frac{x^2dx^2}{rr-xx}$. En mettant dans l'élement au lieu de y & dy^2 leur valeur en x, on trouve $\frac{Cy}{R}\sqrt{dx^2+dy^2} = Cdx$. Maintenant prenant R pour exprimer l'effort perpendiculaire sur chaque point de la surface, on peut dire que chacun de ces points pese comme R, & tend à se détacher par cette force dans la direction du rayon. $CRdx$ est donc l'expression de la pesanteur de chaque zône ou l'élement de la pesanteur de la demie-sphere par laquelle ses points tendent à être enfoncez suivant le rayon: Et CRx integrale de cette differentielle ou CR^2 en faisant $x = R$, est la somme de l'effort perpendiculaire contre les parois de la demie-sphere.

Effort dilaniateur dans la sphere.

Pour venir enfin à l'effort dilaniateur, on multipliera suivant la re-

marque que l'on a faite, la zone $c\,d\,x$ par l'expreſſion de la force dilaniatrice qui tend à éloigner la zone entiére paralellement au plan de rupture. Il faut ſe reſſouvenir que la révolution s'eſt faite ſur l'axe des x pris au centre : Ainſi la diſtance $C\,B$ de chaque zone au grand cercle eſt exprimée par x ; ce même x eſt le ſinus de l'angle formé par le rayon CM perpendiculaire au point que cet x ou MN qui lui eſt paralelle preſſe obliquement, & par le rayon CB du plan de rupture auquel MN eſt perpendiculaire. La partie NC du rayon compriſe entre l'extrêmité N du ſinus & le centre C eſt l'expreſſion de la force non employée à déchirer. x exprime ſeul la partie de l'effort total décompoſé qui tend à la rupture : ainſi multipliant l'élément $C\,d\,x$ par x, il vient $C\,x\,d\,x$ pour l'effort que ſouffre chaque zone, ou ſi l'on veut, pour

le poids par lequel chaque zone eſt tirée ſelon la direction dilaniatrice MN qui eſt perpendiculaire au plan de rupture. $S.\ Cxdx = \frac{1}{2}Cx^2$, faiſant $x = R$ on a $\frac{1}{2}CR^2$ pour la meſure de l'effort dilaniateur de la demie-ſphere, lequel eſt moitié de l'effort perpendiculaire ou total contre les parois, & qu'on a trouvé être CR^2.

Expériences pour réduire en poids l'effort de la Poudre.

Figure 4.

Il faut à preſent réduire ces efforts en poids pour les comparer avec la réſiſtance du métal, on le peut par ces expériences : On prendra une petite chambre AB de deux pouces de largeur & qui aura pour baze un cercle AD d'un pouce quarré, comme ſeroit une partie de canon de fuſil ; on la remplira de Poudre ſans boure, & elle ſera preſſée de la façon dont on charge ordinairement les armes : on mettra ſur la bouche du petit canon un morceau de feutre un peu plus grand

qu'elle, & par-dessus un poids ſpherique, & l'orifice de la chambre ſera par ce moyen parfaitement fermé Le feu ſera porté par la lumiére *A*. Si la Poudre a trop de force elle enlevera le globe, ſi elle en a trop peu le globe ne bougera pas; on reïterera l'experience: Enfin on prendra un terme moyen entre celui qui a vaincu l'obſtacle, & celui qui ne l'a pas fait.

On prendra auſſi un morceau du métal dont ſont coulées les pieces; il ſera ſemblable à deux piramides tronquées qui ſe joignent par leur petite baze *A B* d'un pouce quarré; de la ſorte l'effort qui déchirera ne pourra agir que dans ce plan: on fera chauffer ce morceau juſqu'à ce qu'il ait acquis le degré de chaleur auquel peuvent parvenir les pieces. On le ſuſpendra verticalement avec un crochet *C*, & ou attachera au crochet *D* des poids que l'on augmen-

Figure 5.

tera jusqu'à ce que les deux piramides tronquées soient séparées, on prendra le poids que je nomme p, pour celui qui peut déchirer un morceau de métal, suffisament échauffé dans un plan d'un pouce quarré, car c'est sur le métal échauffé qu'il faut toûjours faire le calcul, puisque les pieces s'échauffent & que la chaleur en dilatant leurs pores en relache les fibres, les amolit & les rend capables d'une moindre résistance; soit nommé b le plan d'un pouce quarré, & a le poids du globe en équilibre avec l'effort de la Poudre. Si l'on supose $p = u \times a$ chaque poids a ou $\frac{1}{u}$ p aura separé la neuviéme partie du métal dans le plan b de rupture. Ainsi $\frac{b}{u}$ augmenté seulement d'un infinitiéme auroit résisté à l'effort de a. Prenant donc $\frac{b}{u}$ & a pour deux puissances égales, & prenant aussi a & l'effort E de la Pou-

dre pour deux autres puiſſances égales, on voit que $\frac{b}{u} = a = E$ & conſéquemment que l'effort de la Poudre employé contre *a* ſeroit en équilibre avec la réſiſtance de la partie $\frac{b}{u}$ du plan *b* le métal étant échauffé.

On ſçait que la force *E* de la Poudre qui eſt en équilibre avec le poids *a* n'eſt que la force des tourbillons qui apuyent contre l'orifice *b* ſur lequel le poids eſt poſé : J'ai ſupoſé tacitement que la petite chambre reſtant toûjours pleine de Poudre, ou augmentoit ou diminuoit le poids ſelon le beſoin, ce qui eſt facile en ſe ſervant d'un globe creux dans lequel on verſe des grains de plomb autant qu'on veut; de la ſorte on conſerve le centre de gravité du poids dans l'axe vertical du canon qui arriveroit difficilement en augmentanr autrement le poids, & ce qui au reſte ſeroit moins égal.

Dans

Epaisseur du métal, pour une chambre spherique.

Dans les capacitez remplies de Poudre en quantité proportionnelle, les petits tourbillons ont une force centrale égale : Ainsi ayant supposé la chambre spherique pleine de Poudre de même que la petite Chambre de l'expérience, chaque partie des parois de la demie-sphere égale à b ressentira une pression exprimable par a, c'est-à-dire, l'orifice b est à la pression a qu'il souffre, comme la superficie CR de la demie sphere est à la pression $\frac{a}{b}CR$ qu'elle doit soûtenir & que nous avons trouvée égale à $\frac{fq^2}{c^2}$ avant que la force de la Poudre fut réduite en poids. Mais l'effort total contre les parois, est à l'effort dilaniateur qui tend à rompre la sphere dans le plan de la plus grande couronne, comme 2 à 1 ; on a donc $\frac{fq^2}{2c^2}$ ou $\frac{a}{2b}CR$ pour l'effort qui fait rompre ; pour trouver la surface de rup-

ture on fera cette analogie, le poids p eſt à la ſurface de rupture b comme le poids $\frac{CRa}{2b}$ eſt à la couronne de rupture $\frac{CRa}{2p} = \frac{1}{2n} CR$ en mettant na au lieu de p. Il eſt à preſent facile de trouver l'épaiſſeur neceſſaire à l'orbe; car connoiſſant la ſurface de rupture, on fera cette derniere analogie. La ſurface $\frac{CR}{2}$ du grand cercle de la ſphere eſt à R^2 quarré de ſon raïon comme $\frac{1}{2n} CR$ ſurface de la couronne eſt à $\frac{1}{n} R^2$ quarré du raïon d'un cercle égal à la couronne, il ne faut plus qu'élever perpendiculairement à l'extrêmité d'un diametre $R \sqrt{\frac{1}{n}}$ & décrire du centre du grand cercle par l'extrêmité de cette ligne une circonference qui formera une couronne égale à $\frac{1}{2n}$ CR & déterminera de la ſorte l'épaiſſeur convenable, ou bien pour avoir autrement cette

épaiſſeur inconnuë que je nomme z, faiſant attention à la proprieté du cercle on aura cette équation $2Rz + z^2 = \frac{1}{n} R^2$ d'où l'on tire $z = R\sqrt{\frac{n+1}{n}} - R$.

On voit que ceci eſt applicable aux bombes, grenades &c. en cherchant d'abord à connoître par une experience avec quel poids eſt en équilibre la reſiſtance d'une partie déterminée de ſurface d'un morceau des métaux dont ces globes ſont faits Il m'eſt inutile d'entrer plus avant dans cette recherche qu'il ſuffit d'indiquer. Il eſt très dangereux dans la pratique de tirer des bombes trop chargées, on en partage avec l'ennemi tous les éclats, lorſqu'on tire un peu de près, il n'y a point de Siége où cela n'arrive très ſouvent. Outre le dommage & la perte que cela cauſe aux Troupes de la tranchée, on perd un avantage qu'ont les bombes moins

Avantages que l'on peut tirer pour les bombes de la juſte détermination de leur épaiſſeur.

chargées ou dont l'épaisseur est proportionnée à la charge, leurs éclats qui sont jettez au loin tomberoient tous sur l'ennemi, en ne sortant point de leurs ouvrages.

Chambres cilindriques. Quel est l'effort qui les fait crever?

Je passe à l'éxamen des chambres cilindriques, & je vais entrer dans un détail convenable à la perfection de nos Pieces de Canon qui ont aujourd'ui cette figure : l'usage a désabusé des autres, & ce qu'on dira de celles-ci pourra s'étendre à toutes, & la route que l'on va suivre fera voir qu'il s'en faut bien qu'on n'ait agi jusqu'à present avec connoissance, puisque toutes les considerations qu'on n'a point faites & qu'on peut faire, sont d'une necessité indispensable pour parvenir aux proportions justes, & à la perfection des pieces.

Je suppose une certaine quantité de Poudre enflâmée dans un cilindre, l'effort des tourbillons qui ap-

puyent contre les parois est celui dont dépend l'effort dilaniateur. La régularité de cette figure, fait voir que si on la partage en deux parties égales, il y aura autant de tourbillons qui presseront dans un sens que dans un autre. Or il n'y a que trois plans qui peuvent partager en deux également ce cilindre, un rectangle dans lequel seroit l'axe, un cercle perpendiculaire au milieu de l'axe, ou quelque ellipse qui passeroit par le même point. Il n'y a que les forces qui agissent en sens contraire, qui tendent à déchirer, la rupture se fera par un cercle si la pression égale & contraire sur les deux bases est plus grande qu'aucune autre, ce cas ne se trouve point dans la pratique des pieces, elle ne se peut jamais faire par une élipse, car la surface de la couronne circulaire est moindre que celle d'une couronne éliptique prise dans le même cilindre, enfin elle se

fera par une ligne droite ſur la longueur de la ſurface cilindrique ſi la preſſion égale & contraire ſur la ſurface des deux demi-cilindres coupez ſur la longueur eſt plus grande qu'aucune autre & que la réſiſtance du métal, c'eſt ce cas dont il eſt queſtion.

Concevons que le cilindre ſe déchire ſuivant une ligne droite AB paralelle à l'axe, l'effort des petits tourbillons eſt perpendiculaire au plan qu'ils touchent; ainſi en tant que perpendiculaire, il ne peut qu'enfoncer : on voit donc puiſque deux petites parties ſe ſeparent, qu'il faut que cet effort ſe partage, & qu'il arrive la même choſe, que ſi deux puiſſances contraires DA, CA, les tiroient directement à elles, il en arrive autant à chaque point de rupture. Imaginons à préſent un des cercles qui coupe le cilindre & que la rupture cauſée par l'effort des tourbillons commence dans un point de

Figure 6.

Figure 7.

Figure 7.

la circonference pour continuer en ligne droite, la direction E A de la puiſſance qui enfonce eſt perpendiculaire à la tangente CD en ce point, & les forces C A, D A qui déchirent & qui ſont oppoſées ont la même tangente CD pour direction, ou ſi l'on veut les deux côtez infiniment petits qui forment un angle dans le point A ou la ſéparation doit ſe faire. Pour meſurer cet effort dilaniateur, par rapport à l'éfort perpendiculaire, il faut trouver le rapport des lignes qui peuvent exprimer ces forces. Or trois puiſſances ſont en équilibre, lorſqu'elles ſont entr'elles comme les trois côtez d'un triangle formé par la rencontre des perpendiculaires tirées ſur leurs lignes de direction & chaque force eſt exprimée par la perpendiculaire ſur ſa direction. Si donc du centre E du cercle on abaiſſe deux rayons EF, EG perpendiculaires ſur les deux côtez infiniment pe-

tits qui sont les directions de l'effort qui tend à séparer, un rayon perpendiculaire exprimera l'effort dilaniateur. Et si l'on tire un 3e rayon EA dans l'angle ou point de séparation, ce rayon est la direction de la puissance qui enfonce, & GF partie infiniment petite de circonference comprise entre les deux extremitez F,G, des rayons perpendiculaires aux petits côtez HA, IA est perpendiculaire à ce rayon. Ainsi ce côté FG infiniment petit & les deux rayons EF, EG expriment le triangle des forces, puisque chacun des côtez est perpendiculaire aux directions de ces forces, & elles sont entr'elles (dans l'état d'équilibre) comme ces côtez. C'est à-dire l'effort qui enfonce est à l'effort dilaniateur, comme un côté infiniment petit est au rayon, mais l'effort perpendiculaire agit dans son entier sur tous les points de la circonference: il faut donc multiplier

ce côté infiniment petit par la circonference entiere, ce qui donne cette même circonference, & l'effort dilaniateur reste tel qu'il étoit parce qu'il n'agit que sur un point; l'effort total contre le cercle est donc à l'effort dilaniateur qui tend à séparer deux de ses points, comme la circonference au rayon.

Maintenant si l'on considere ce cercle comme l'élement du cilindre, de même qu'un point est l'élement de la ligne, & que l'on multiplie les deux premiers termes de cette proportion par l'axe du cilindre; on aura toûjours l'effort total contre la superficie du cilindre est à l'effort qui déchire le cilindre sur toute sa longueur, comme la circonference de la base au rayon.

Ainsi c marquant la capacité, q la quantité de poudre, s la superficie du cilindre, l'effort contre cette superficie est $\frac{sq^2}{c^2}$, nommant C la cir-

Effort dilaniateur.

conference de la base & *R* son rayon, on aura C. R :: $\frac{sq^2}{c^2}$ $\frac{Rsq^2}{c^2 C}$ & ce 4e terme exprimera l'effort dilaniateur qui tend à faire ouvrir le cilindre. Cette valeur est une formule generale pour marquer cet effort, mais si l'on fait attention que la superficie *s* du cilindre est égale au produit de la circonference *C* par l'axe *l* du cilindre, on pourra mettre *lC* au lieu de *s*, & la formule se réduira à $\frac{Rlq^2}{c^2}$. J'en fais l'application.

Si l'on a deux cilindres comme 1 & 4 & que la quantité de Poudre qu'ils renferment soit dans le même rapport de 1 à 4, la hauteur de ces cilindres étant la même, les rayons des bases & les circonferences seront comme 1 à 2 & consequemment les superficies. On remarquera que dans les deux cilindres les chaleurs sont égales de même que les condensations, parce que les quantitez de

Poudre ſont dans le rapport des capacitez. On ſe ſervira de la formule $\frac{Rlq^2}{c^2}$ on y ſubſtituera les valeurs de *R. l. q. c.* qui appartiennent au même cilindre, & on aura pour les deux cas que les efforts dilaniateurs ſont comme 1 à 2; d'où l'on conclut que dans ces deux cilindres les épaiſſeurs du métal à déchirer doivent être comme 1 à 2, pour qu'ils réſiſtent également; bien que la capacité du ſecond & ſa quantité de Poudre ſoit quadruple de celle du premier.

Si l'on conçoit encore deux autres cilindres comme 1 & 4 avec des quantitez de Poudre dans le même rapport & que les longueurs ſoient comme 1 à 4 au lieu d'être égales, les rayons seront alors égaux, mais les ſuperficies ſeront comme 1 à 4, on remarquera de même qu'on vient de faire que les chaleurs & conden-

ſations ſont égales, & en ſubſtituant enſemble dans la formule les valeurs qui ſe conviennent, on trouvera que l'effort dilaniateur du petit cilindre eſt à l'effort dilaniateur du grand comme 1 à 4. Conſequemment pour qu'ils réſiſtent également il faut qu'il y ait 4 fois plus de métal à ſeparer dans le cilindre long que dans le court, c'eſt-à-dire les épaiſſeurs doivent être égales, puiſque les longueurs ſont comme 1 à 4, ce qui rend les rectangles de déchirure auſſi comme 1 à 4.

Comparant à preſent les deux cilindres égaux dont les baſes ſont comme 4 à 1 & les longueurs comme 1 à 4, on voit que quoi que tout y ſoit égal, quantité, capacité, chaleur, denſité; il faut cependant que l'épaiſſeur du cilindre racourci, ſoit à celle du cilindre long, comme 2 à 1 pour reſiſter pareillement; car l'effort dilaniateur

du cilindre dont la longueur eſt 1 eſt à l'effort dilaniateur de l'autre cilindre, comme 2 à 4 ou 1 à 2 qui eſt le rapport de leurs ſuperficies; afin donc qu'ils reſiſtent également, il faut qu'il y ait le double de métal à ſeparer dans le cilindre dont la longueur eſt $4\,l$, & c'eſt préciſément ce qu'il aura ſi l'épaiſſeur de ſon métal eſt 1 quand l'épaiſſeur de l'autre ſera 2 parce que le rectangle de déchirure $4\,l \times 1$ eſt double de $1\,l \times 2$.

Si l'on conſidere auſſi les deux cilindres dont les baſes ſont égales & dont les longueurs ſont differentes, on verra dans la ſuppoſition qu'on a faite, que les quantitez étoient comme les capacitez, que l'épaiſſeur du métal de ces deux cilindres doit être la même, & en effet la longueur des cilindres ne fait rien à l'effort dilaniateur, mais ſeulement la grandeur de la circonference ſur laquelle il appuye plus ou moins de tourbil-

lons, & dans cet éxemple on voit que les densitez, les chaleurs, & les circonferences étant égales, l'effort dilaniateur de chaque cercle est le même, ainsi l'épaisseur doit suivre la même loy.

Generalement on aura l'effort dilaniateur de deux cilindres, en mettant dans la formule, au lieu de R, l, q, c, les quantitez qui y ont rapport de quelque maniere qu'elles varient.

Épaisseur à la culasse des pieces.

Pour déterminer qu'elle doit être l'épaisseur du métal des pieces au premier renfort de la culasse, je suppose comme il est naturel, que la Poudre dont les pieces sont chargées est également pressée dans toutes pour qu'elle y occupe toûjours un espace proportionnel à sa quantité, & qu'elle n'y soit pas plus pressée que dans les experiences dont nous avons besoin. Je suppose encore que la Poudre enflâmée en quelque quantité ne

ſe dilate pas d'abord ; (ſuppoſition fauſſe en elle même, mais avantageuſe à la pratique, puiſqu'en ſe dilatant ſon reſſort diminüe) dans ce cas concevons qu'il ſe ſoit totalement enflâmé dans des pieces de differens calibres des cilindres de Poudre de 3 pouces d'axe, on remarquera 1°. Que dans ces pieces les chaleurs & les condenſations ſont égales. 2°. Que les longueurs des cilindres ſont auſſi égales. 3°. Mais que les baſes ſont differentes. Ainſi dans la formule $\frac{Rlq^2}{c^2}$ de l'effort dilaniateur, l qui exprime une longueur conſtante doit s'effacer de même que $\frac{q^2}{c^2}$ qui eſt auſſi un rapport conſtant dans le cas qu'on examine : R ſeul exprimera donc l'effort dilaniateur & l'épaiſſeur du métal doit ſuivre cette proportion. Mais R n'eſt autre que le rayon de la baſe des cilindres : donc les épaiſſeurs du metal à la culaſſe

doivent être entr'elles dans toutes les pieces dans le rapport des rayons de leurs calibres.

On a coutume de donner pour épaisseur à la culasse & au premier renfort de la culasse le diametre du Boulet, il est vrai que cette difference de rapport n'est pas bien grande, mais elle fait appercevoir que le rapport du calibre de 24 qui est 5 pouces 1 ligne 7 $\frac{1}{2}$ points, au calibre de 4 qui est 3 pouces 1 ligne 5 $\frac{3}{4}$ de points étant moindre que celui des diametres de leurs Boulets, on pourroit à la rigueur diminuer un peu l'épaisseur de nos pieces de 24. puisque chacune de ces pieces resiste. L'excès du métal n'est pourtant pas assez grand pour la diminuer. On peut donc dire que nos pieces sont bien proportionnées l'une à l'égard de l'autre quant à l'épaisseur de la culasse; à present qne le rapport veritable

ble est connu, il faut chercher quelle doit être la juste épaisseur, car il ne suffit pas d'avoir trouvé le rapport, il est bon de ne point charger les pieces d'un métal superflu.

Expe-rience pour déterminer la juste é-paisseur.

Pour y réüssir il faut se servir des experiences qui nous ont déja guidé & ne pas perdre de vûë, cette supposition qu'on a faite que la Poudre n'est pas plus pressée dans les pieces que dans la petite chambre de la premiere experience : ainsi on pourra faire cette analogie; la superficie b est à l'effort perpendiculaire qu'elle soutient, & qu'on a trouvé égal à a, comme la superficie cl d'un cilindre est à l'effort $\frac{cla}{b}$ qu'il aura à soutenir; les tourbillons qui la pressent ayant une force semblable à celle des tourbillons qui font effort contre b. Mais l'effort total est à l'effort dilaniateur dans un cilindre, comme la circonference est au rayon. Ainsi $\frac{cla}{b}$ ex-

primant l'effort total des tourbillons $\frac{Rla}{b}$ ſera l'effort dilaniateur reduit en poids. Il ne faut plus que trouver la grandeur du rectangle de déchirure que l'on aura par cette analogie priſe de la ſeconde experience : le poids p eſt à la ſurface de rupture b comme le poids $\frac{Rla}{b}$ eſt au rectangle $\frac{Rla}{p}$; & ſi on le diviſe par ſa longueur l, $\frac{Ra}{p}$ exprimera ſa ſeconde dimenſion qui déterminera la juſte épaiſſeur qu'il convient de donner à la culaſſe des pieces pour reſiſter à l'effort de la poudre dans le cas ou le métal ſeroit autant échauffé que celui dont on s'eſt ſervi pour faire l'experience, ce que je ne croi point pouvoir arriver, mais ceci tourne à l'avantage de la piece. $p = na$; ainſi $\frac{Ra}{p} = \frac{1}{n} R$: d'où l'on voit que plus la reſiſtance de b à être déchiré ſera grande & plus n augmentera, & conſéquemment l'épaiſſeur

des pieces doit être d'autant moindre, ce qu'exprime n diviſeur de R; ſi la reſiſtance de b eſt telle qu'il ne faille que la moitié du poids a pour le déchirer, alors n égalant $\frac{1}{2}$, $\frac{R}{n} = 2R$ c'eſt à dire la piece doit avoir pour épaiſſeur le diametre de ſon calibre, c'eſt la proportion qu'on leur donne, il eſt aiſé de verifier par l'experience, ſi elle convient parfaitement, je doute qu'on ſoit jamais entré dans ce détail, on peut voir combien il ſeroit neceſſaire, puiſque par ce moyen on diminueroit les pieces d'un poids inutile, ou l'on ſçauroit quelle plus grande épaiſſeur il faudroit leur donner pour reſiſter malgré la chaleur qu'occaſionne un grand nombre de coups tirez en peu de tems.

Remarques pour déterminer l'épaiſſeur à la volée.

On vient de donner les formules pour déterminer l'épaiſſeur qui convient à la culaſſe des pieces. Pour fixer à preſent celle qui eſt neceſſaire

à la volée, il faut faire attention qu'elle dépend de deux choses. 1°, de la longueur de la piece qui doit être telle qu'elle ait une plus grande portée & que toute la poudre s'y enflâme. 2°. de la pesanteur de la volée qui tend à faire rompre la piece d'autant plus facilement que le metal plus échauffé a moins de resistance & se courbe plus vîte. La premiere de ces deux choses trouvée, on déterminera l'épaisseur à la volée, & la seconde fera connoître l'effort que fait la volée d'une certaine pesanteur pour rompre ou faire courber la piece, & si une plus grande épaisseur est plus ou moins avantageuse à cette rupture.

Quoi qu'il me paroisse naturel de déterminer premierement la longueur des pieces, selon que peut l'éxiger la facilité de la manœuvre ou l'usage qu'on se propose & de rechercher ensuite la charge convenable

& les épaisseurs proportionnées, cependant parce que plusieurs personnes pensent que la longueur des piéces doit être dans le rapport des charges, je vais d'abord entrer dans un éxamen qui pourra les détromper à cet égard, mais pour cela il faut que je prenne les choses de loin.

Si l'on avoit des mesures précises des vîtesses de l'inflammation de la Poudre, on sçauroit bien-tôt quelle quantité s'en enflâme eû égard à la maniere dont elle est logée & à la résistance que l'air lui oppose, alors on trouveroit aisément quelque formule génerale qui feroit voir quelle épaisseur le métal devroit avoir à chaque point depuis le fond de la culasse, jusqu'à l'extrêmité de la volée, en montrant en même temps quelle seroit la chaleur précise lorsque le feu seroit parvenu à chacun de ces points. Je ne pense pas qu'on fasse jamais cette découverte : Ainsi

je ne vois nulle hypothese qu'on puisse établir & sur laquelle on soit justement en droit de raisonner. Au deffaut de cette connoissance on se servira d'experiences qui nous conduiront à la même fin avec le secours de la Géometrie. Je me servi-

Experiences sur les portées.

ray de celles que M[r] Du Mets ancien Lieutenant Géneral d'Artillerie fit autrefois à Dunkerque avec des pieces françoises de 10 pieds de long. Ces pieces pointées à 45 degrez, & chargées aux deux tiers du Boulet, porterent, sçavoir, la piece de

24	à . . .	2250 T.
16	à . . .	2020 T.
12	à . . .	1870 T.
8	à . . .	1660 T.
4	à . . .	1520 T.

Sans vouloir m'arrêter à démontrer tous les principes du jet des bombes il est bon de les rappeller ici en peu de mots pour qu'on les ait

presens, & je le ferai d'autant plus volontiers que beaucoup de personnes, même du métier, pensent que les corps jettez employent moins de temps dans leur descente que dans leur montée, & que la vîtesse uniforme des Boulets causée par la même charge de Poudre, est differente selon les directions.

La vîtesse uniforme des Boulets est la même dans toutes les directions d'une même charge.

Une certaine quantité de Poudre étant enflâmée dans une capacité, par exemple spherique, on a vû que chaque partie égale de surface, ou chaque point, étoit pressé avec une force égale & perpendiculaire au plan tangent en ce point: D'où il suit que quelque soit le point de la surface spherique qui soit enfoncé, il suivra la direction du rayon de la capacité qui passe par ce point, & il recevra une vîtesse égale à celle d'un autre point qui seroit aussi enfoncé, puisque l'effort de la Poudre est le même. Ainsi quelque di-

rection que l'on donne à l'axe d'une arme, le globe chassé recevra necessairement une égale vîtesse uniforme selon cette direction, & voila pourquoi ceux qui ont écrit du jet des Bombes ont supposé une ligne constante pour marquer la force d'une même charge de Poudre contre un mobile jetté sous telle inclinaison que ce soit : l'impression de la Poudre donne donc au corps une direction rectiligne qu'il suit uniformément, tandis que sa pesanteur qui agit continuellement sur lui le contraint de s'approcher verticalement du centre de la terre, & le mobile prend une direction composée, & décrit une courbe.

Figure 8. Soit le corps A chassé suivant la ligne de projection A B oblique à l'horison A C, & soit tiré la verticale A D, il faut premierement regarder le corps chassé selon A B comme poussé par deux puissances l'une ver-

ticale, l'autre horiſontale, capables chacune de lui faire parcourir leurs lignes de directions dans le même tems qu'agiſſantes enſemble il auroit parcouru la diagonale A B : On remarquera que la force ou l'impreſſion par A C n'eſt contraire à aucun des autres mouvemens ; elle ne s'y oppoſe pas, elle porte ſeulement le corps horizontalement ; mais la vîteſſe verticale uniforme aſcendante par A D eſt entierement contraire à la vîteſſe accelerée que la peſanteur cauſe, & ces deux forces ſe détruiſent continuellement, il ne reſte au mobile à chaque inſtant de la montée, que l'excès de l'une ſur l'autre. La vîteſſe par A D eſt conſtante, & la vîteſſe par A I qui étoit l'unité dans le premier inſtant, s'accelerant toûjours, devient telle, que le mobile en acquiert un degré qui lui fait parcourir en deſcendant un eſpace égal à celui qu'il parcourt en mon-

Figure 1.

Comment la vîteſſe uniforme en montāt devient retardée.

tant, alors le corps qui sans l'obstacle seroit monté uniformément d'une hauteur comme A H a descendu de la hauteur A I = $\frac{1}{2}$ A H, suivant le principe de la chute des corps, & il se trouve au point L dans lequel A L = A I = $\frac{1}{2}$ A H ; dès ce moment l'impulsion verticale cesse, elle est détruite de même que la force acquise par la pesanteur, & le corps recommence par l'unité à acquerir de nouveaux degrez d'acceleration en tombant librement. Si l'on fait bien attention que le corps emporté verticalement suivant A D descend réellement dans le même tems, & que la vîtesse uniforme a été détruite par la vîtesse contraire provenuë de la pesanteur ; on verra que la pesanteur agissant sans interruption sur le corps, il ne séjourne point au point L. Il cesse de monter, il est vrai, mais il ne cesse pas de descen-

dre, & il arrive en A dans un tems égal à celui qu'il a employé pour parcourir A L=A I, puiſque la chûte d'un même mobile par des lignes égales, n'éxige qu'un même temps pendant lequel il eſt toûjours capable de parcourir d'un mouvement uniforme avec ſa derniere viteſſe acquiſe un eſpace HD=AH double de A I. Donc pendant la montée AL & la deſcente LA du mobile, il eut monté uniformément en A D quadruple de AL & le temps de l'élevation par AD eſt meſuré par le double du tems de la chute de L en A.

La maniere dont on a décompoſé la force d'impulſion de la Poudre par A B en deux autres forces par A D & A C, l'une verticale, l'autre horizontale, fait voir que l'eſpace parcourru dans un tems égal de la montée, augmente ou diminuë ſuivant l'inclinaiſon. Le même mobile

eſt toûjours un tems déterminé à acquerir en tombant une certaine vîteſſe, & les vîteſſes acquiſes à la fin de chaque tems, ſont entr'elles comme les tems écoulez & les eſpaces parcourus depuis la chute, ſont entr'eux comme les quarrez de ces tems ou des vîteſſes : Ainſi prenant ſur la ligne d'impulſion A B une ligne conſtante A E pour marquer l'eſpace parcouru dans un inſtant ſelon cette direction, le ſinus d'inclinaiſon E G ſera l'eſpace que le corps doit parcourir en acquerant dans ſa chute ſa plus grande vîteſſe qui détruit la force verticale & comme nous parlons toûjours du même mobile & de la même force de Poudre nous pouvons dire que les dernieres vîteſſes que le corps doit acquerir par la chute ſont entre-elles comme les ſinus des angles d'inclinaiſon, que les tems ſont auſſi entre-eux comme ces ſinus, & que les

Figure 8.

élevations du mobile ſont dans le rapport du quarré de ces ſinus.

Pour connoître la courbe que le corps décrit, on remarquera que l'impulſion verticale uniforme par A D & l'accelerée deſcendante par A I ſe reduit à monter d'un mouvement retardé par A L & à deſcendre enſuite dans un même temps d'un mouvement acceleré par L A, mais comme il n'y a rien eû de détruit dans la vîteſſe uniforme du mobile ſuivant A C il parcourt ſur l'horiſontale un chemin égal pendant ſa montée & ſa deſcente, & à la fin de chaque tems qui peut être exprimé par les élemens de l'horiſontale, ce corps ſe trouve dans des points communs aux deux directions. Mais les eſpaces non parcourus en montant ſont entre-eux comme les quarrez des tems non écoulez, ou les eſpaces parcourus en deſcendant ſont entre-eux comme les quarrez des temps

Figure 8.

La courbe décrite par un mobile jetté eſt une parabole.

écoulez depuis la chute ; la courbe décrite est donc une parabole, puisqu'elle a la même proprieté, en prenant les espaces parcourus pour les coupées, & les tems pour les ordonnées.

Idée fausse sur les portées.

Je n'entrerai pas dans un détail plus étendu, ce que j'ai dit suffit pour ce que je me suis proposé : Je vais rechercher à present quelle est la vîtesse que les Boulets des differens calibres ont reçûs de la Poudre dans les experiences, & montrer l'erreur de ceux qui prétendent que les piéces d'un moindre calibre portent à proportion plus loin que les grosses piéces : Je voudrois bien sçavoir ce qu'ils entendent par ce mot *à proportion* ; il faut qu'ils n'ayent point d'idée de la force & du mouvement des corps, ils verront 1° Que la vîtesse des Boulets des grosses piéces chargées dans quelque rapport égal de la pesanteur de ces Boulets, est

plus grande: 2° Que la pesanteur du Boulet, entrant necessairement dans l'expression de la force, elle est à proportion de la longueur & de la charge, plus grande dans les grosses pieces, que dans les pieces d'un moindre calibre: 3° Que dans les pieces de differens calibres & de longueurs proportionnées aux charges, il s'enflâme, eû égard aux capacitez, plus de Poudre dans les grands calibres, que dans les autres. Ce détail est assûrément aussi curieux, qu'utile.

Ligne de projection.

Prévenu des principes de la chute des corps, si l'on fait attention qu'une piece étant pointée sous 45 degrez, la ligne de chûte B C & l'amplitude A C sont égales & forment avec la ligne de projection A B tangente à la courbe, un triangle rectangle isocelle dont la projection est l'hypotenuse, on connoîtra toûjours cette ligne $AB = AC\sqrt{2}$. On a pris les valeurs en pouces afin de

négliger plus facilement les restes.

Pièces de	*Lignes de chûte.*	*Ligne de projection.*
24	162000	229102
16	145440	205683
12	134640	190409
8	119520	169026
4	109440	154771

L'élevation d'un corps est égal au quart de la ligne de chute.

La ligne de projection A B est parcouruë d'un mouvement uniforme, tandis que le corps monte & descend, mais comme tout est égal dans le mouvement retardé d'un corps élevé à une certaine hauteur, & acceleré lorsqu'il tombe de la même hauteur; on voit que sa plus grande élevation repond au milieu E de la ligne de projection: ainsi la plus grande élevation du corps est égale à G F demie sous-tangente de la courbe; elle est donc égale au quart de la ligne de chute.

Boulet

Boulet de 24. . Elevation	40500
16	36360
12	33460
8	29880
4	27360

Il est facile de sçavoir le tems employé à parcourir toutes ces lignes : Des experiences réiterées & faites avec soin ont appris qu'un corps quelconque tombant librement parcourt 15 pieds dans la 1[re] seconde de sa chute, & comme les espaces parcourus par un mouvement acceleré d'un corps sont entr'eux comme les quarrez des tems écoulez, on trouvera que la montée & la descente du corps, pendant lequel tems la ligne de projection a été parcouruë d'un mouvement uniforme, a duré à très-peu près pour le Boulet de

Quels tems sont emploiés dans la montée & la descente.

24	30 Secondes.
16	28
12	27

8	26
4	25

Vitesse uniforme du Boulet.

La vitesse uniforme de chaque Boulet par seconde en parcourant la ligne de projection est donc pour le Boulet de 24 106

16	102
12	98
8	90
4	86

D'où l'on voit d'abord que la vîtesse reçûë est plus grande dans les pieces d'un plus grand calibre, & la force d'un corps étant le produit de sa masse par sa vîtesse, chaque Boulet a de force en sortant :

24 × 106	=	2544	ou	2198016
16 × 102	=	1632	ou	1410048
12 × 98	=	1172	ou	1016064
8 × 90	=	720	ou	622080
4 × 86	=	360	ou	297216

on a multiplié chaque toise par 864 lignes.

Mais la force du Boulet n'eſt qu'un effet dont la Poudre enflâmée eſt la cauſe, conſequemment l'impreſſion de la Poudre ſur le Boulet peut être exprimée par la force que le Boulet en a reçû. Le Boulet eſt une ſphere, la Poudre n'apuye & ne fait effort que ſur une demie-ſphere (on fait pour un moment abſtraction du bouchon) les petits tourbillons appuyent perpendiculairement ſur cette ſurface, & preſſent par des directions qui ſe réüniſſent au centre du Boulet; le Boulet n'eſt pas chaſſé par une force égale à la ſomme de ces forces, car plus l'angle formé par une des directions & l'axe de la piéce ſera grand, & moins la puiſſance qui preſſe employera de ſa force pour faire ſortir le Boulet: Il faut pour la déterminer décompoſer la force perpendiculaire, ainſi que dans le globe creux dont on a parlé précedemment; un peu d'attention

Comment par la force du Boulet, on parvient à connoître le rapport des quantitez de Poudre enflâmées dans chaque calibre.

fait appercevoir que ces deux cas sont le même ; ici la demie-sphere sur laquelle se fait l'effort est poussée du dehors au dedans par des directions paralleles entre-elles & à l'axe de la piéce, & dans le globe creux la demie-sphere est poussée du dedans au dehors par un égal nombre de forces semblables (les superficies supposées égales) & dans les mêmes directions. Ces deux cas sont donc absolument le même, & l'effort sur le Boulet est la moitié de l'effort total sur la superficie ; il peut s'exprimer comme on l'a vû par $\frac{1}{2}$ CR^2 en nommant toûjours C la circonference du Boulet, & prenant R pour exprimer le rayon & en même tems la force d'un tourbillon.

Mais $\frac{1}{2}$ *CR* est égal à la superficie du grand cercle du Boulet ou du cercle qui sert de base au cilindre creux qui forme l'ame de la piece ; ainsi

l'effort de la Poudre sur le Boulet est le même précisément que l'effort perpendiculaire de la Poudre sur un diaphragme qui seroit de la grandeur de ce cercle, ou si l'on veut, sur un cilindre de la pesanteur du Boulet & qui auroit le même grand cercle pour base : cette réflexion empêche une difficulté qu'auroit pû faire la supposition que j'ai faite que la Poudre enflâmée pressoit immédiatement sur le Boulet, ce qui ne peut arriver que quand elle est toute enflâmée ; Maintenant il ne nous importe pas quelle supposition faire & l'on peut s'en tenir à ce qui est probable : Sçavoir, que la Poudre s'enflamant & chassant en avant par sa dilatation ce qui lui fait obstacle, presse comme sur un diaphragme circulaire ou plateau, sur le bouchon & sur un nombre de grains de Poudre non enflamez qui sont poussez hors de la Piece, & qui forment

assez parfaitement une base de cilindre.

Divisant la force de chaque boulet $\frac{fq^2}{c^2}$ (qui est l'effort perpendiculaire de la Poudre qu'on peut prendre pour la force du Boulet) divisant, dis-je cette grandeur par la superficie du grand cercle du Boulet, on aura $\frac{q^2}{c^2}$ pour la force dont chaque point de ce cercle est pressé. On en déduira aisément le rapport des quantitez de Poudre enflâmées pour les effets differens dans chaque piece: On s'est servi de la valeur de la toise en ligne dans l'expression de la force du Boulet pour avoir un plus-grand produit, que l'on a divisé par la superficie du cercle en lignes quarrées pour que l'erreur fut moins sensible. La superficie des cercles des calibres, est pour la piece de

24	3588
16	2760

12	2270
8	1736
4	1095

Et l'effort ou la pression sur chaque point de la superficie f dans la piece de

24 . . .	est . .	$613 = \frac{q^2}{c^2}$
16 . . .	est . .	$511 = \frac{q^2}{c^2}$
12 . . .	est . .	$447 = \frac{q^2}{c^2}$
8 . . .	est . .	$357 = \frac{q^2}{c^2}$
4	est . . .	$271 = \frac{q^2}{c^2}$

On sçait que lorsque les chaleurs & les condensations sont égales les tourbillons d'un fluide ont une même force centrale, & consequemment l'effort contre un point est le même : On voit donc que dans ces épreuves puisque cet effort est different, les chaleurs & les condensations ont été differentes, ce qui ne peut arriver que quand la quantité de Poudre enflâmée est plus grande

L'inflammation est plus subite dans les gros calibres, que dans les moindres.

à proportion de la capacité dans une piéce que dans une autre.

Cet effort doit être tel dans les piéces d'un grand calibre par rapport à celles d'un moindre, parce que dans les premiers instans de l'inflammation, il s'enflâme plus de Poudre dans une grosse piéce que dans une petite, à cause de la résistance differente des Boulets, de l'air, du poids de la Poudre non enflâmée, & aussi parce que s'enflâmant circulairement, elle trouve plus de parties à enflâmer en même tems dans une grande masse que dans une petite. Tous ces accidens ne sont point indifférens; car pendant la résistance, le feu pénétre à travers les interstices d'une partie des premiers grains qui ne peuvent s'échaper comme cette flâme ; ils s'embrasent donc aisément & en plus grande quantité que s'ils étoient chassez en-avant par le soufle du feu. Il devient évident que

dans une piéce d'un gros calibre, chargée comme il convient, l'inflammation sera plus prompte que dans celle d'un moindre calibre, chargée dans le même raport: d'où il resulte deux choses principales: sçavoir, premierement, que la longueur des grosses pieces doit être moindre en quelque proportion, des hauteurs de leurs charges, que celle des petites. Secondement, que la chaleur aux mêmes distances dans les grosses pieces est plus grande, que dans les petites: Par conséquent le métal y souffre plus & est plus sujet à se fondre, si on n'y remedie pas par la construction de la piéçe.

Pour trouver le raport des quantitez de poudre qui s'enflâment dans les pieces dont nous parlons, on remarquera qu'elles sont toutes de la même longueur, & que leurs capacitez sont dans le rapport de leurs bases: On peut donc au lieu de la

capacité, prendre la base; je la prens toûjours en ligne afin d'avoir des raports plus éxacts. On formera une équation de $\frac{q^2}{c^2}$ & de la force ou pression contre chaque point; on aura par éxemple, pour la piéce de 24, $613 = \frac{q^2}{c^2}$ ou $\sqrt{613} = \frac{q}{3588}$ en mettant pour c la base, on fera de semblables équations pour chaque piéce, & l'on en déduira l'expression du raport des quantitez de poudre enflâmée: on trouve que dans la piéce de

24	q	= 89700
16	q	= 63480
12	q	= 47670
8	q	= 32984
4	q	= 17520

Ce qui montre que le raport des quantitez de poudre enflâmée est plus grand, que le raport des capacitez & ce qui confirme parfaite-

ment tout ce que nous avons dit. Il suit de-là necessairement que les justes longueurs des pieces ne sont point proportionnelles aux charges à cause des accidens dont on a parlé, mais à quelque grandeur que je ne croi déterminable que par la pratique: Voici la façon de la trouver pour une piéce de 4. Par éxemple:

Déterminer quelle longueur doit avoir une piéce par rapport à une certaine charge.

On se servira d'une piéce de ce calibre fort longue, on la tirera sous 45. degrez, & l'on cherchera quelle vîtesse uniforme le Boulet aura reçû de la Poudre à ce coup: on suivra la volée de cette piéce de 2. ou 3 pouces; on tirera un second coup, & l'on recherchera encore la vîtesse qu'aura reçû le Boulet, on tirera un 3e, un 4e coup, &c. en racourcissant toûjours la volée, & ayant grande attention à éviter tous les accidens qui peuvent porter de la difference dans les coups, comme la chaleur du métal qui fait plus ou

moins dilater l'air qui est entre les
les grains de Poudre, & qui en diminuë le ressort, la façon inégale
de loger la Poudre, de la bourer,
&c. on remarquera enfin à quelle
longueur de piece la vîtesse du Boulet aura été la plus grande; il est certain qu'il n'y a qu'un point dans la
piéce ou qu'une longueur qui donne ce *maximum* qu'il est plus sûr de
chercher en tâtonant & par des experiences réïtérées, que par une aucune autre regle, & qu'il y a deux
longueurs, l'une au-dessus, l'autre
au-dessous de ce point qui donneront les mêmes portées; celle de
dessus arrivera quand la poudre étant toute enflâmée, le Boulet aura
encore une certaine longueur de
volée à parcourir, pendant lequel
temps la vîtesse du Boulet aprés avoir été la plus grande, diminuëra
par la résistance de l'air qui ne sera
plus vaincuë, & par le frottement,

& peut-être par d'autres causes qui toutes ensemble contribuëront à retarder cette vîtesse. La portée égale à celle-ci & qui se trouve au-dessous de la juste portée arrivera dans le point où la piéce étant coupée, il ne s'est pas encore assez enflâmé de poudre, & alors le rapport qui exprime la force de la Poudre employée sur le Boulet est le même, & il y a un tel point, car le Boulet ayant eû une vîtesse accelerée depuis le moment de l'inflammation, jusqu'au moment de sa plus grande vîtesse, il a passé necessairement par tous les degrez successifs de force.

Les expériences de M. Dumets ne môtrent pas si les points sont d'une juste longueur.

L'éxamen que nous venons de faire des experiences de Mr Dumets ne fait pas voir si les pieces sont trop longues ou trop courtes, on a seulement observé que dans les piéces de même longueur chargées dans un certain rapport égal de la pesanteur de leurs Boulets, les vîtesses

étoient differentes; mais comme il eſt fort à croire que la Poudre n'étoit point entierement enflâmée dans l'une ni l'autre de ces pieces, on peut hardiment conclure que dans les gros calibres le Boulet arrive plûtôt à ſon *maximum* de vîteſſe, que dans les petits.

On ne peut déterminer les lõgueurs des pieces, les unes par les autres.

Je ne vois pas que la piéce de 4. étant déterminée on puiſſe par ſa longueur déterminer celle des autres pieces, elles doivent être plus courtes, eû égard au plus de réſiſtance, mais dans quel raport ? Il faudroit comme l'on a dit, connoître parfaitement avec quelle rapidité la poudre s'enflâme dans tous les calibres; on ne peut pas appliquer à ceci la théorie des ſimples traînées, car la poudre dans les piéces eſt renfermée, & c'eſt de-là que naît cette réſiſtance de l'air qui jointe au poids du Boulet & de la Poudre non enflâmée, s'oppoſe à la dilatation de

la Poudre avec une certaine force, & ne s'oppose cependant point à l'embrasement. Tout est donc different dans chaque piéce; ainsi la meilleure maniere & la plus facile d'en déterminer les longueurs seroit de les rechercher sur chacune, comme sur la piéce de 4. Car il est impossible dans ce cas que la théorie saisisse avec justesse tous les raports dont elle a besoin pour calculer une formule générale: On en viendroit facilement à bout si la résistance de l'air étoit l'unique obstacle, en connoissant par des expériences autant éxactes qu'il est possible l'explosion de la poudre, & à quel point étant dilatée, elle est en équilibre avec l'air. On est convaincu que la poudre renferme dans ses pores un air éxtremement dense, & par consequent l'élasticité de cet air est extrême, puisque les élasticitez sont dans le raport renversé des densitez, le

feu venant, pour ainsi dire, à rompre les petits liens qui retenoient bandez les ressorts de cet air, il s'échape avec une impetuosité qui augmente encore par la chaleur; & c'est de ces deux choses que dépend en même tems la violence de la dilatation.

Lorsque la poudre s'enflame le boulet ne reçoit point tout d'un coup cette extrême rapidité; il étoit en repos & doit passer dans un tems bien court il est vray, par tous les dégrez successifs de force, jusqu'à la plus grande vitesse que la charge soit capable de lui donner, il commence dès le premier instant de l'inflammation à se mettre en mouvement & la poudre l'accompagnant toujours dans sa dilatation, lui ajoûte à chaque instant quelque nouveau dégré de force, jusqu'à ce qu'étant dilatée autant que l'air exterieur, elle ne puisse plus avoir d'accroissement:

Il faudroit donc qu'une piéce pour être la mieux proportionnée (si on comparoit simplement la Poudre à un air extrémement dense) fut telle, que quand le Boulet sort, il ne put recevoir d'augmentation de vîtesse, ce qui répondroit à une piéce infiniment longue, si l'air ne résistoit pas; car alors la dilatation seroit infinie: mais l'air résistant & cela d'autant plus qu'il est frapé avec plus de vîtesse, il il est visible que sa résistance contrebalance une partie de la force de la Poudre qu'elle rend nulle; & la difference de ces forces, c'est-à-dire, l'excès de la force de la Poudre sur la résistance, est cette force qui emporte le Boulet & qui est exprimée par cette quantité que nous avons trouvée égale à $\frac{q^{t}}{c^{2}}$ après le calcul; de sorte que les grandeurs exprimées par q pour chaque piece, n'expriment pas véritablement le rapport des quan-

titez enflamées, mais bien le raport des forces de la Poudre employées contre le Boulet & qui dépendent des quantitez enflamées & des accidens, ce qu'il n'étoit pas temps de dire lorsqu'on en a fait le calcul, parce qu'on n'étoit pas prévenu de ce qu'on vient de remarquer : tous ces accidens sont si variables que l'on ne peut faire aucune supposition, ni établir aucune hypothese sur laquelle on puisse s'appuier pour determiner les longueurs. C'est donc à l'experience seule à qui j'aurois recours.

Pour faire les épreuves on choisira un beau temps serain, lorsque l'air sera dans un milieu entre le chaud & le froid, les portées étant beaucoup plus longues dans un temps chaud, parce que l'air qui est entre les grains, est plus ou moins capable de ressort & de dilatation selon que l'air exterieur avec lequel il communique est differemment rarefié.

Cette attention qu'on n'a point eû á trompé souvent dans la reception des Poudres. Je sçai qu'une erreur fort commune parmi les Canoniers, est de croire qu'à mesure que la piéce s'échauffe la portée augmente par l'accroissement de force qu'ils prétendent que la Poudre acquiert, mais ils se trompent; & si alors on diminuë la Poudre, ce n'est que pour ménager le métal. On a fait à la Fere des expériences qui ne permettent pas de douter de cette vérité & par lesquelles on a vû clairement qu'une piéce échauffée porte son Boulet moins loin que si elle ne l'étoit pas, & que dans un tems chaud la portée est plus courte que dans un tems frais. On tira un petit Mortier coulé avec sa platte-forme & pointé à 45. degrez, la charge étoit de 3. onces de poudre, & le globe pesoit 60 l. il n'y avoit sur la poudre ni tampon ni bouchon; l'expérience se fit

à la pointe du jour en été lorsque l'air étoit encore frais par la rosée de la nuit. Le Globe fut porté à 75 toises, les coups suivans diminuerent de 1, 2 & 3 toises environ à mesure que le Mortier s'échauffoit ; mais pour être plus certain de la raison d'un effet dont la cause étoit discutée, & lever les difficultez des Personnes que l'attache au préjugé engageoit à croire que la crasse du Mortier pouvoit contribuer à diminuer les portées, on fit mettre dans le Mortier une grande quantité de charbon allumé. Quand le Mortier fut tres échauffé on le nettoya bien, & lorsqu'il fut à un degré de chaleur à ne point craindre d'accident, on y mit encore de la même maniere 3. onces de poudre & le même globe, la portée fut plus courte que la premiere du matin d'environ 20. toises : on réitera, tous les coups s'accorderent, & l'on convint que

la chaleur de l'air diminuoit considerablement le ressort occasionné par la poudre.

La méthode de déterminer les longueurs des piéces par les charges est tres-mauvaise.

La Poudre a donc des effets differens selon les dispositions du tems; il faut y avoir égard principalement en faisant des épreuves pour déterminer les longueurs des piéces, puisque ce n'est que par des expériences qu'on peut parvenir à connoître leurs justes longueurs. Je ne dis pas qu'on s'en tienne à celles qui auront été ainsi déterminées, il faut que la facilité de la manœuvre & le meilleur usage décide; mais il est d'une necessité indispensable de trouver la juste longueur d'une piéce pour en fixer l'épaisseur à la volée & dans tous les points; après quoi on pourra, selon que la commodité l'éxigera, diminuer la longueur des piéces. C'est ici la meilleure façon qu'on ait proposée jusqu'à present, cependant elle n'est point naturelle : Est-

il en effet raiſonnable de déterminer la longueur des piéces par les charges ? cette méthode eſt mauvaiſe, car on voit que ſi elle donne des piéces dont la longueur ne convienne point, & qu'on ſoit obligé de les racourcir pour s'en ſervir plus facilement, il arrive que toute la Poudre ne s'y embraſe point, il s'en perd une grande quantité, qui eſt chaſſée hors de la piéce & qui eſt inutile. Cependant comme on a reglé l'épaiſſeur par la charge, cette épaiſſeur devient trop grande dans la piéce racourcie, & l'on retombe par un ſuperflu de métal dans un nouveau défaut. Je ne vois donc rien de meilleur que de fixer la longueur de la piéce ſelon que peut l'éxiger l'emploi que l'on en veut faire, il faut que celle de 24. par exemple, ne ſoit point aſſez longue pour devenir embarraſſante, & pour que ſon recul ne puiſſe la mettre ſuffiſament

La facilité de la manœuvre doit décider de la longueur d'une piéce, & l'on doit enſuite chercher ſa charge.

hors de batterie pour recharger. Voila à quoi on doit premierement faire attention, ensuite on cherchera la charge qui appartient à cette piéce, en la tirant avec differentes quantitez de poudre, & s'arrêtant à celle qui aura donné la plus grande portée : on fera la même chose pour chaque piéce en particulier ; leurs longueurs & leurs charges ainsi déterminées, on recherchera les épaisseurs qui ont rapport à l'effort qu'elles ont à soûtenir.

De quelle façon déterminer l'épaisseur à la volée.

Pour trouver l'épaisseur des piéces à la volée on remarquera que celle de la culasse a été fixée par l'effort de la poudre non dilatée, c'est-à-dire, faisant son effort pour se dilater, mais étant retenuë dans le même espace qu'occupoient les grains avant leur embrasement ; alors on avoit la plus grande chaleur & la plus grande condensation ; mais lorsque le Boulet est prêt à sortir la Poudre étant di-

latée & sa chaleur étant moindre, l'épaisseur à la volée doit aussi être plus petite qu'à la culasse. Il est aisé de connoître ces raports en se servant de la formule $\frac{fq^2}{e^2}$ pour exprimer l'effort total à la culasse; on mettra $c\,l$ au lieu de f, on aura $\frac{clq^2}{e^2}$ & $\frac{Rlq^2}{e^2}$ pour l'effort dilaniateur dans la supofition qu'on a faite à l'avantage de la pratique; l exprime la longueur de l'axe du cilindre que la Poudre occupe dans la culasse, & c la capacité de ce cilindre : Pour avoir l'effort dilaniateur à la volée, on nommera $m \times l$ l'axe de toute la piéce, & $m \times c$ sera la capacité entiere; mettant ces valeurs dans la formule generale $\frac{fq^2}{e^2}$, on trouve pour l'effort total de la piece lorsque le Boulet sort $\frac{Cmlq^2}{m^2e^2}$; car ici $f = C\,m\,l$, son effort dilaniateur sera donc $\frac{Rmlq^2}{m^2e^2}$,

Pour déterminer à présent l'épaisseur du métal, on divise les deux formules $\frac{Rlq^2}{c^2}$ & $\frac{Rmlq^2}{m^2c^2}$ la premiere par l, & la seconde par ml pour avoir l'effort contre un seul cercle, on effacera aussi $\frac{q^2}{c^2}$ qui est commun & elles se réduiront à R & $\frac{R}{m^2}$; on fera ensuite cette analogie, l'effort dilaniateur R d'un cercle de la culasse, (la poudre enflâmée n'occupant encore que l'espace des grains) est à l'épaisseur $\frac{Ra}{p} = \frac{R}{n}$ (qu'on a déterminée précedemment) comme $\frac{R}{m^2}$ effort dilaniateur d'un cercle (la Poudre étant dilatée dans toute la piece) est à $\frac{Ra}{m^2p} = \frac{R}{m^2n}$ épaisseur convenable pour résister à cet effort, & c'est celle qu'il faut donner à l'extrêmité de la volée. Il est également facile de déterminer l'épaisseur dans tous les points de la piece. Il n'y a qu'à remarquer que l'épaisseur de la

Comment déterminer l'épaisseur pour toute la piece. Figure 9.

culasse $\frac{R}{n}$ qui répond au petit cilindre de Poudre, est à l'épaisseur de l'extrémité de la volée $\frac{R}{m^2 n}$ comme 1 est à $\frac{1}{m^2}$ mais $1, m :: 1 . m l$ & $\frac{1}{m}$ exprime le raport de l'axe l du petit cilindre de Poudre à l'axe $m \times l$ de la piece ; on voit donc, si on veut tracer la ligne qui doit donner l'épaisseur de toute la piece, qu'il faut tirer une ligne $A E$ égale à la longueur de la piece, $A B$ exprimera la longueur l de l'axe du cilindre de Poudre que la charge forme dans la culasse, $B C$ sera égal à $\frac{R}{n}$ & $D C$ sera paralelle à $A B$, on fera $F E$ épaisseur à la volée égal à $\frac{R}{m^2 n}$ & sur $B E$ on élevera des perpendiculaires $P M$ qui feront les ordonnées d'une courbe $C E$ qui doit être telle que $\frac{1}{m}$ exprimant le raport de la constante $A B$ aux coupées $A P$, on ait

toujours $\overline{AP}^2 (m^2 l^2) . \overline{AB}^2 (l^2) :: BC$ $(\frac{R}{n}) . RM (\frac{R}{m^2 n})$ & ſi l'on nomme AP, x, & PM, y, on a pour l'équation de cette courbe $\frac{1}{n} R l^2 = xxy$ qui eſt une hyperbole du ſecond genre dont AE eſt une aſymptote ; cette courbe étant tracée on fera AL égal au rayon du calibre & on tirera LN paralelle à AE, & ſur cet axe LN on fera faire une révolution au plan $ADFE$ par laquelle l'aſymptote de la courbe décrira la ſurface cilindrique intérieure & la courbe de la ſurface extérieure telle que tous les cercles de la piece ſeront d'une égale réſiſtance. La façon dont on vient de déterminer l'épaiſſeur de toute la piece eſt à l'avantage de la pratique, car on a ſupoſé que la Poudre y étoit toujours toute enflamée, elle ne le doit cependant être que lorſque le boulet ſort. Il faut voir dans cet

état quel est l'effort que la pesanteur de la volée fait pour rompre la piece & si la résistance de ses fibres est proportionnée au poids qui tend à cet effet.

Quel est l'effort qui fait courber une piéce.

La piece étant portée sur ses tourillons, la volée n'est point soûtenüe depui cet apui, son poids constant qui est d'autant plus puissant pour faire rompre la piece, que le centre de gravité de la volée est plus éloigné de l'apui, tend toujours à la faire courber, pendant que la puissance contraire qui s'oppose à cet effet & qui n'est autre chose que la résistance des fibres du métal à s'étendre, diminüe continuellement par la chaleur qui les rend plus souples; il arrive donc necessairement que la piece se courbe; cependant on la charge, & le boulet venant a être emporté avec rapidité dans une direction rectiligne, s'il trouve la piece peu courbée, il ne fait que l'évaser par son grand frottement, & donne à la

Poudre par la résistance quil souffre, plus de tems à s'enflâmer ; de sorte que celle qui ne se seroit enflâmée que quand le boulet auroit été à l'extrêmité de la volée, se trouve toute allumée par exemple vers les deux tiers de la piece. Voila principalement la raison pourquoi on a suposé que la Poudre étoit toûjours toute enflâmée dans la piece. Enfin après quelques coups, la piece ployée d'avantage permet à peine la sortie du boulet, il peut même s'engorger & toute la Poudre venant à agir contre un métal déja très-afloibli par la dilatation & le relâchement de ses fibres, la piece crêve facilement.

Comment corriger ce deffaut.

Le moyen de commencer à corriger ce deffaut seroit de faire différens mélanges des métaux qui entrent dans la fonte du Canon, en prendre plusieurs morceaux de même volume & de figure semblable, les mettre dans des creusets dans le même

fourneau & observer éxactement lequel de ces mélanges se feroit fondu plus difficilement, on s'en tiendroit à celui-là comme le meilleur, ou bien on échaufferoit dans le même fourneau & en même-tems deux lingots égaux, de ces mélanges, & l'on éprouveroit ensuite lequel des deux résisteroit le plus à la rupture ou à une extention déterminée ; l'usage où l'on est de mettre pour la fonte tant de parties de chaque métal est extrêmement fautif, il seroit bon si le même métal étoit dans toutes les mines parfaitement homogene, & l'on peut couler d'excellentes piéces avec 100. parties de rosette de Suede & 12 parties d'étain fin d'Angleterre qui est la proportion que suivent les bons Fondeurs tandis qu'avec la même proportion de métaux de mines differentes on en coulera de trés-mauvaises. Il seroit donc à propos de repeter a chaque fonte l'expé-

rience que je propose, car il est certain que la qualité du métal des différentes mines, n'étant point la même, la même proportion ne doit point être gardée dans les mélanges, il y en a toûjours un meilleur & plus convenable pour chaque espece, on ne le peut trouver qu'en tâtonnant. En se conduisant de la sorte on tireroit toûjours le meilleur parti des métaux à employer; indépendament de cette recherche il faut trouver les proportions nécessaires au métal pour l'opposer à la courbure.

Une piéce de canon sur son affut est, comme on l'a dit, portée sur ses tourrillons qui lui servent d'apui, & si elle doit rompre par la pesanteur de la volée cette fracture ne se peut faire qu'à l'extrêmité oposée à la culasse du diametre des tourrillons pris paralelle à l'axe de l'ame, (la piéce supośée horisontale) c'est-à-dire dans le Plan qui sépareroit des tourillons

la platte-bande du ſecond renfort, cette fracture eſt un cercle, & lors qu'elle arrive il faut qu'en ſupoſant un diametre de ce cercle perpendiculaire à la tangente paralelle à l'horizon, ce diametre ſoit le rayon des arcs que décrivent les fibres qui s'allongent & leſqu'elles ſont toutes compriſes dans la couronne de rupture : ainſi l'extrêmité inferieure du grand diametre de la couronne eſt un point fixe qui eſt le centre de la révolution. C'eſt ce point proprement qu'il convient de conſiderer comme l'apuy.

Si toutes les fibres ſe rompoient à la fois il ſeroit aiſé de déterminer l'effort qui en ſeroit cauſe étant dans le moment de l'équilibre égal au poids qui feroit rompre un cilindre vertical dont le cercle eſt égal à la ſuperficie de la couronne, & l'on meſureroit ainſi la force de la réſiſtance; une expérience facile donneroit ce poids

poids absolu contre lequel chaque fibre résisteroit de toute sa force; mais lorsque la rupture se fait sur un apui, chaque fibre prise sur le rayon de révolution est differemment tendûë selon le raport de sa distance à l'apui, ainsi chaque fibre résiste differemment.

La pesanteur de la volée est la puissance qui tend à faire rompre, & ce n'est point par sa pesanteur absoluë seulement qu'elle agit. Il y a dans la partie de l'axe de la piéce prise depuis le plan de rupture jusqu'à l'extrêmité de la volée un point tel que toute la pesanteur s'y réünit, ce point est le centre de gravité. Voici donc deux puissances qui agissent l'une contre l'autre, & qui seront en équilibre lorsqu'elles seront entre-elles reciproquement comme la distance de leur centre à l'apui commun.

Trouver le centre de pesanteur de la volée.

Pour trouver le centre de pesanteur de la volée on remarquera de

K

quelle figure eſt cette volée; ſupoſons que ce ſoit celle que j'ai déterminée & qui a été formée par la revolution d'une hyperbole du ſecond genre, ſur une ligne paralelle à ſon aſymptote, & dont l'équation eſt $\frac{Rr^{n}}{n} = xxy$. Je nomme a la partie de l'axe compriſe depuis le fond de la culaſſe juſqu'au plan de rupture. On ſçait que pour trouver le centre de gravité d'un corps il faut diviſer la ſomme des momens par celle des poids. Cela poſé la valeur d'une des couronnes du ſolide eſt $yy + 2Ry$ en prenant au lieu du grand cercle qui eſt variable moins le petit qui eſt conſtant, le quarré de leurs rayons. Si on multiplie cette valeur par dx on aura pour l'élement du ſolide, où la difference des poids $yydx \times 2Rydx$, cette differentielle multipliée par x a donnera $\overline{x-a} \times \overline{yydx + 2Rydx}$ pour la differentielle des momens.

La diſtance du centre de gravité à l'apui eſt donc $\frac{S \cdot \overline{x-a} + \overline{yy\,dx + 2Ry\,dx}}{S \cdot \overline{yy\,dx + 2Ry\,dx}}$ & l'intégrale ſe trouve en mettant au lieu de y & y^2 ſes valeurs priſes dans l'équation de la courbe ; mais puiſque la volée des piéces dont nous faiſons uſage a la figure d'un cône tronqué, en faiſant abſtraction des moulures, je vais auſſi leur appliquer cette théorie. Tous les élemens de la volée ſont des couronnes, & au lieu de les conſiderer ainſi, pour rendre l'expreſſion un peu plus ſimple, on prendra en leur place les cercles qui leur ſont égaux & l'on regardera la volée comme formant un cône tronqué plein, dont le centre de gravité ſera le même ; je prens au point de rupture l'origine des x, je nomme a le rayon de la grande baſe de ce cône, laquelle eſt le plan même de rupture, b le rayon de la petite qui eſt à l'extrémité de la volée, L la

longueur entiere du cône dont le cône tronqué a pû être tiré, l la longueur du cône tronqué, y le rayon d'un cercle quelconque compris entre les deux bases & pris à l'extrêmité d'un x, dx est l'épaisseur de l'élement dont y est le rayon, on prendra le quarré des rayons pour la superficie des cercles & on aura $aa, yy :: L^2, \overline{L-x}^2$: ainsi $yy = \frac{\overline{L-x}^2}{L^2} \times aa$, la differentielle des poids sera $\frac{\overline{L-x}^2}{L^2} \times aadx$, & $\frac{\overline{L-x}^2}{L^2} aaxdx$ sera la differentielle des momens. La distance du centre de gravité sera donc $\frac{S. \overline{L-x}^2 \times xdx}{S. \overline{L-x}^2 \times dx} = \frac{12 L^2 x - 16 L x^2 + 6 x^3}{24 L^2 - 24 L x + 8 x^2}$. On mettra dans cette formule l au lieu de x & la pesanteur absolüe du métal de la volée multiplié par l'intégrale $\frac{12 L^2 l - 16 L l^2 + 6 l^3}{24 L^2 - 24 L l + 8 l^2}$ qui marque la longueur du bras de lévier à l'extrê-

mité duquel tout le poids se réünit avec le plus d'avantage, est l'expression de la force qui tend à faire rompre.

Cette formule est générale pour tous les cônes tronqués, cônes & cilindres, en la laissant telle qu'elle est pour les cones tronquez, & remarquant pour les cônes que $L = l$ & la formule se reduit à $\frac{1}{4} l$ & pour les cilindres substituant $2 L$ au lieu de x ou l, car puisque $aa. yy :: L^2. \overline{L - x}^2$ lorsque $aa = yy$ qui est le cas du cilindre $L^2 = L^2 — L^2 -- aLx + xa$, d'où l'on tire $2 L = x$ & la formule se réduit à $\frac{1}{2} l$.

Trouver le centre des résistances.

Pour trouver dans la couronne quel est le point où les resistances des fibres se réünissent il faut imaginer qu'un cône tronqué creux $A B E G$ est scellé, par exemple, dans un mur & que son axe $C D$ est horizontal, dans cette situation, la pesanteur

Figure 10.

réünie au point H qui eſt ſon centre de gravité étant multipliée par la diſtance $C H$ eſt la puiſſance qui tend à faire rompre le cône dans le plan du mur, la puiſſance oppoſée à cet effort eſt la réſiſtance des fibres du ſolide ; ſi le ſolide étoit ſuſpendu verticalement toutes les fibres ſeroient également tendües & dans l'inſtant d'équilibre qui précederoit la rupture, la réſiſtance des fibres ſeroit égale au poids abſolu du ſolide. Mais dans la ſituation horizontale, le point A peut être conſideré comme un apui où comme le centre de la révolution qui doit faire le cercle $A I B L$ en ſe détachant du mur, le diametre $A B$ eſt le rayon de révolution, conſéquemment les fibres de ce plan ayant neceſſairement leurs tenſions dans le raport de leurs diſtances à l'apui A, elles réſiſteront differemment. Il y a diverſes hypotheſes ſur ces réſiſtances, ſi elles

étoient comme les tenſions, chaque élement, du triangle *A B M*, paralelle au cercle dans le point d'apui exprimeroit cette réſiſtance ou ce qui eſt la même choſe, la diſtance de cet élement à l'apui la pourroit exprimer ; mais ſi les réſiſtances ſuivent une autre loi, ce ſeront les ordonnées d'une courbe *A O* qui marqueront les réſiſtances des fibres dont l'éloignement à l'apui ſera exprimé par les coupées de la même courbe priſes ſur le rayon de révolution *A B*. Cette derniere hypotheſe doit être la ſeule à ſuivre ; puiſqu'elle comprend toutes les autres. La courbe *A O* ſe réduira à une ligne droite paralelle à *A B* ſi on ſupoſe que chaque fibre réſiſte également, elle deviendra l'hypotenuſe *A M* d'un triangle rectangle *A M B* dans le premier cas.

Quelles que ſoient ces réſiſtances, il y a toûjours dans le diametre *AB*

du cercle de rupture un point dans lequel elles se réünissent toutes, & tel qu'une puissance qui leur seroit égale, & qui y seroit appliquée agiroit avec le plus d'avantage, cette force multipliée par la distance de ce centre de résistance à l'apui est la puissance contraire à celle qui tend à faire rompre ; elle doit donc lui être égale pour que le solide ne se courbe point. Quelque raport qu'il y ait entre la résistance d'une fibre & sa tension, les résistances formeront une suite dont le nombre des termes sera exprimé par la suite où progression arithmetique des coupées ou distances de ces fibres à l'apui. Et l'uniformité des loix de la nature est telle qu'on est obligé de juger que la résistance des fibres correspondantes, fait une suite entre les termes de laquelle il y a quelque raport soit constant, soit variable, avec un certain ordre, de sorte que

quand on aura connu quelques uns des premiers termes consecutifs de cette suite, on connoîtra facilement tous les autres, ces termes seront les ordonnées de la courbe des résistances dont les coupées sont les termes arithmétiques correspondans. Et la relation de la résistance de chaque fibre à sa tension, exprimée d'une façon générale sera la proprieté de cette courbe. On parviendra par des expériences réitérées à une connoissance suffisantedes résistances pourla pratique, on remarquera pour cet effet quel poids il faudra pour qu'une fibre s'allonge comme 1 ensuite comme 2. 3. 4. &c. & l'on reglera sur ces premiers termes trouvés ceux qu'on ne connoît pas & qui font la la suite entiere. Et en même tems on cherchera, comme on vient de le dire, quel est le raport de chaque résistance avec le terme arithmetique qui lui répond, l'on sçaura, par

éxemple, que le uniéme quelconque eſt égal à n modifié de telle maniere. Ce uniéme arithmetique ſera la coupée x & la réſiſtance ſera l'ordonnée y

Figure 11. Dans le mouvement de révolution chaque fibre décrit un arc de cercle qui eſt la meſure de la tenſion, ainſi la comparant à celle que l'on a trouvée par l'expérience, on connoîtra la réſiſtance qu'elle offre pour avoir la ſomme des réſiſtances des fibres compriſes dans le plan de rupture; on remarquera que la double ordonnée K K du cercle de la couronne multipliée par P M ordonnée de la courbe, eſt l'expreſſion de la force des fibres rangées ſur cette double ordonnée puiſqu'elles ont une même force, car on ſupoſe K K paralélle à la tangente du cercle au point d'apui A; & ſi l'on multiplie cette grandeur par P P en ſupoſant une nouvelle ordonnée de la couronne infiniment proche de la premiere, P P

ſera la difference de la coupée, & MP × KK × PP ſera l'expreſſion de la réſiſtance de la bande de fibres qui a KK pour baſe & PP pour largeur. Enfin ſi l'on multiplie cette grandeur par le bras de lévier PA on aura l'expreſſion entiere de la force avec laquelle chaque bande réſiſte à l'effort contraire, & l'integrale de cette grandeur exprimera la réſiſtance totale de la couronne : Sçavoir S. MP × KK × PP × AP.

Pour donner un éxemple de la route que l'on doit ſuivre ; je vais ſupoſer comme l'a fait Mr Mariotte que les réſiſtances ſont dans le raport des tenſions. La diſtance de leur centre à l'apui eſt égale à la ſomme des momens diviſée par la ſomme des poids, mais les réſiſtances de chaque bande de fibres que nous conſiderons comme des poids, ſont le produit de chaque bande par ſa diſtance au point d'apui, ainſi on

voit que le centre de résistance où de gravité devient dans ce cas le centre de percussion de la couronne. Pour déterminer à quel point il est placé, soit la couronne DH balancée autour de l'axe AB, son centre de percussion sera en quelque point G; & soit en un point E le centre de percussion du cercle IL balancé autour de la même tangente; il est évident puisque le petit cercle IL & la couronne sont les deux parties du grand cercle, que le centre de percussion de ce grand cercle est en quelque point F entre G & E, car le centre de percussion d'une surface quelconque, est necessairement entre les centres de percussion de ces deux parties, & ces trois centres sont disposés de telle sorte qu'en nommant *a* la couronne considerée comme un poids appliqué au point G & *b* le petit cercle consideré aussi comme un poids appliqué au centre E. Les quantitez de

Figure 12.

mouvement $FE \times b \times ED$ & $GF \times a \times GD$ sont égales de part & d'autre. Il faut trouver la distance GD du centre de percussion de la couronne au point d'apui par le moyen de cette expression pour cela soit $DE = f$, $DF = g$ & l'inconnüe $DG = z$, $FE = g - f$ & $GF = z - g$ mettant ces valeurs dans $FE \times b \times ED = GF \times a \times DG$; il vient $bf \times \overline{g - f} = az \times \overline{z - g}$ d'où l'on tire $zz - gz = \frac{b}{a} \times \overline{fg - ff}$ & $z = \frac{1}{2} g \pm \sqrt{\frac{b}{a} \times \overline{fg - ff} \times \frac{gg}{4}}$. La seconde valeur de z ne peut servir puisqu'elle donne DG moindre que DF, & qu'au contraire celle qui est necessaire doit être plus grande. Il ne faut à present que mettre dans cette équation les valeurs de f & de g que l'on a marquées par des indéterminées pour avoir f soit nommé le rayon CL, z. Le rayon CD, R. L'epaisseur LD de la couronne l, PM est une ordonnée de petit cercle

qui est égale à $\sqrt{2rx-xx}$ en nommant x la coupée P L, cela posé selon le principe général du centre de percussion $DE = f = \frac{S.\overline{l+x}^2 dx\sqrt{2rx-xx}}{S.\overline{l+x}\, dx\sqrt{2rx-xx}}$ il faut avoir l'intégrale de cette différence qui ne peut être exacte, on la trouvera en y appliquant la méthode du T. II. de l'Analyse démontrée, page 768 & suivantes. Par le moyen de cette valeur de f, on à celle de g en faisant attention que D L est zero dans le grand cercle; enfin on arrive à la valeur de z. en substituant dans son expression celle de f & de g, on a $z = \frac{5}{8} R \times \frac{1}{4} \sqrt{\frac{R+2x4\overline{RR+zz}}{R_3} \times z^2 \times \frac{25}{4} R^2}$. Je ne donne point le calcul qui y conduit à cause de sa longueur & qu'il occuperoit ici une place assez inutile.

Résistances réduites en poids.

Les expériences que l'on a faites pour connoître les résistances de cha-

que bande de fibres de la couronne ſelon leur tenſion qui eſt dans le raport de leur diſtance à l'apui, ont donné moyen de connoître quel poids eſt en équilibre avec la réſiſtance de chaque bande (on ſupoſe l'expérience faite ſur du métal échauffé à un certain point;) ainſi il eſt facile de réduire en poids la réſiſtance de la couronne; je ſupoſe que le poids K lui ſoit égal & que le poids de la volée ſoit = P. On peut conſiderer ce poids & la réſiſtance R des fibres comme deux puiſſances appliquées chacune à l'extrêmité des bras d'un levier recourbé & faiſant effort pour ſe vaincre l'une l'autre P eſt appliqué au centre de gravité de la volée & R eſt appliqué au centre de réſiſtance. Ces deux puiſſances feront équilibre ſi leur produit par leur diſtance à l'apui eſt égal : on a donc dans l'état d'équilibre $\frac{5}{8}$ K R +

Formule pour l'équilibre des résistances & du poids de la volée.

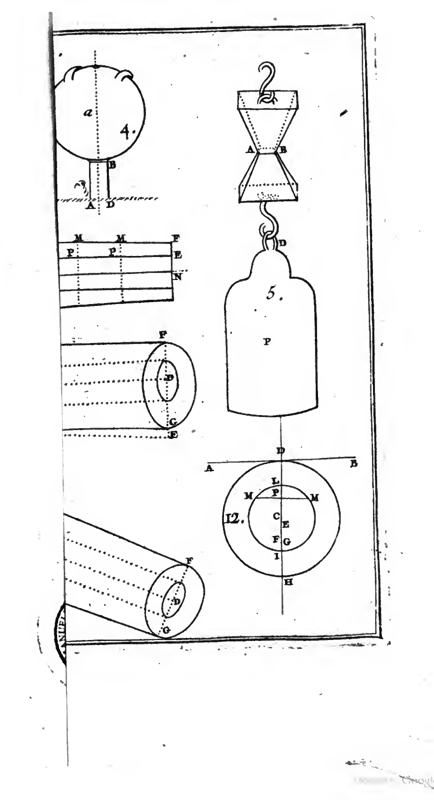
$\frac{1}{4} K \frac{\sqrt{R+zz} \times 4RR+zz}{R} \times zz \times \frac{25}{4} R^2 = \frac{12 L^2 l - 16 L l^2 + 6 l^3}{24 L^3 - 24 L l + 8 l^3} \times P$, il est aisé de voir par cette formule si l'épaisseur que l'on donne aux pieces pour résister à l'effort de la Poudre quand le métal est échauffé est suffisante pour résister à l'effort constant du poids de la volée qui tend à faire courber la piece avec un avantage qui croît par la diminution de la résistance des fibres que la chaleur amolit. Toutes les lettres de cette formule expriment des grandeurs connües; ainsi il faudra mettre dans l'équation leur valeur en nombre, & si le membre qui répond à la résistance est plus petit, c'est une marque que l'épaisseur du métal n'est point assés grande & on l'augmentera de sorte que ce membre soit, au moins, égal à l'autre. L'augmentation d'épaisseur quelque petite qu'elle soit augmente de deux façons

façons la résistance, elle donne une superficie plus grande par l'accroissement de *R*,& éloigne en même tems de l'apui, le centre de résistance, c'est-à-dire rend plus long le bras de lévier par lequel la résistance agit. Mais lorsqu'elle a ce double avantage elle n'augmente le poids de la volée que du métal que l'on ajoûte, si l'on a soin de le repandre de sorte que la distance du centre de gravité de la volée n'augmente point, on peut même la diminüer. Il faut avoir necessairement cette attention & entrer dans ce détail pour prévenir la courbure des piéces ou du moins pour que le métal y résiste plus long tems.

Voila à peu près la route que l'on devroit suivre pour perfectionner nos piéces; on peut voir par les sujets qu'on a traités dans ce Memoire que ce n'est point un petit Ouvrage d'arriver au point de perfection; il est inutile de le chercher par la prati-

que ſeule, elle eſt trop aveugle, & ne donnera jamais des valeurs préciſes. Quelle apparence en effet qu'on y parvienne en n'étudiant point la façon dont la Poudre agit & tous les accidents qui viennent d'une combinaiſon de cauſes differentes, qui ſont toûjours cachées à un eſprit que la théorie n'éclaire point. Je ne dis pas qu'elle reſolve toutes les difficultés, mais ſeulement qu'elle nous montre le chemin de la vérité & qu'elle nous apprend à nous défier de nôtre imagination. Ç'en eſt aſſés pour ne pas recevoir ſans un éxamen ſerieux toutes les nouvelles inventions.

Il eſt tems de terminer un Memoire déja trop long pour un eſſay, ainſi je paſſe un grand nombre de réfléxions & de remarques ſur les armes & ſur les mines, qui pourront avoir place ailleurs & qui ne ſont point eſſentielles ici. Je ſouhaite que l'idée que j'ai eû d'éxaminer un peu la Pou-



a
4.
B
A
D
M
M
F
P
P
E
N
F
D
G
E
F
D
G
A
B
D
5.
P
D
A
B
L
M
P
M
12.
C
E
F
G
I
H



dre & que la certitude où l'on doit être que par son étude on peut perfectionner les bouches à feu, & l'attaque des Places, engagent un nombre d'excellens Officiers que les écoles d'artillerie & le génie produisent, à tourner leur esprit de ce côté. Je sçai que les sentimens se partageront d'abord; mais de ces sortes de disputes il en résulte toûjours de bons éclaircissemens. Pour moi je ne serai point fâché d'être combattu le premier, si jamais le Service en tire quelqu'avantage, & je profiterai avec plaisir des lumieres que je recevrai des autres.

FIN.



EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Roïale des Sciences.

du 2. Avril 1735.

MEssieurs SAURIN & de MAIRAN qui avoient été nommez pour éxaminer un Ouvrage intitulé : *Eſſay de l'application des Forces centrales aux effets de la Poudre à Canon &c.* par Mr Bigot de Morogues Officier dans Royal Artillerie, en ayant fait leur rapport, la Compagnie a jugé que cet Ouvrage étoit fondé ſur une union bien entendüe des principes Mathématiques avec les expériences phiſiques, qu'il établiſſoit bien les veritez & détruiſoit des erreurs communement reçües, celle, par éxemple, que les piéces d'un moindre calibre portent plus loin à proportion que les autres ; qu'il eſt plein de vües & de réflexions curieuſes & qu'il marque beaucoup de ſçavoir ſur les matieres dont il s'agit, & un eſprit d'obſervation plus rare encore & plus utile dans les Sciences, & dans les Arts, que le ſçavoir même. En foy de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris le 6. Avril 1735.

FONTENELLE,
Sec. perp. de l'Ac. Roy. des Sc.

APPROBATION.

J'Ai lû par ordre de Monseigneur le Chancellier, cet *Essay de l'application des forces centrales aux effets de la Poudre a Canon, &c.* dont on peut permettre l'impression : On ne sçauroit trop louër un Officier qui consacre ses veilles à perfectionner par son Etude le Service du Roy : A Paris ce 26 Juin 1737.

Signé, MONTCARVILLE.

PRIVILEGE.

LOUIS, PAR LA GRACE DE DIEU, ROY DE FRANCE ET DE NAVARRE : A nos amez & féaux Conseillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de nôtre Hôtel, Grand-Conseil, Prévôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Justiciers qu'il appartiendra : SALUT. Nôtre bien Amé CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire à Paris, Nous ayant fait supplier de lui accorder nos Lettres de Permission pour l'Impression d'un *Essay sur les forces centrales, & sur l'effet de la Poudre à Canon* : offrant pour cet effet de le faire imprimer en bon papier & beaux caracteres, suivant la feüille imprimée & attachée pour modéle sous le contre-scel des Présentes : Nous lui avons permis & permettons par ces Présentes, de faire imprimer ledit Livre ci-dessus specifié conjointement ou séparément & autant de fois que bon lui semblera, & de le vendre, faire vendre & débiter par tout nôtre Royaume pendant le temps de Trois années consécutives, à compter du jour

de la datte desdites Présentes : Faisons deffenses à tous Libraires & Imprimeurs & autres Personnes de quelque qualité & condition qu'elles soient d'en introduire d'impression étrangere dans aucun Lieu de notre obéïssance : A la charge que ces Présentes seront enregistrées tout au long sur le Regître de la Communauté des Libraires & Imprimeurs de Paris dans trois mois de la datte d'icelles : Que l'impression de ce Livre sera faite dans notre Royaume & non ailleurs, & que l'Impetrant se conformera en tout aux Reglemens de la Librairie, & notamment à celui du 10 Avril 1725. Et qu'avant que de l'exposer en vente, le Manuscrit ou imprimé qui aura servi de copie à l'impression dudit Livre, sera remis dans le même état où les Approbations y auront été données, és mains de notre tres-cher & féal Chevalier le Sieur DAGUESSEAU, Chancelier de France, Commandeur de nos Ordres ; & qu'il en sera ensuite remis deux Exemplaires dans notre Bibliotheque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, & un dans celle de notre tres-cher & féal Chevalier le Sr Daguesseau, Chancelier de France, Commandeur de nos Ordres, le tout à peine de nullité des

Présentes : Du contenu desquelles vous mandons & enjoignons de faire joüir l'Exposant ou ses ayans cause pleinement & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou empêchement : Voulons qu'à la copie desdites Présentes qui sera imprimée tout au long au commencement ou à la fin dudit Livre, foi soit ajoûtée comme à l'Original : Commandons au premier notre Huissier ou Sergent de faire pour l'éxécution d'icelles, tous Actes requis & necessaires, sans demander autre Permission, nonobstant Clameur de Haro, Charte Normande, & Lettres à ce contraires. CAR tel est notre plaisir : Donné à Versailles le douziéme jour de Juillet l'an de grace mil sept cent trente-sept : Et de notre Regne le vingt deux. *Par le Roy en son Conseil,*

SAINSON.

Registré sur le Registre IX. de la Chambre Royale des Libraires & Imprimeurs de Paris N°. 498. Fol 467. conformément aux anciens Reglemens, confirmez par celui du 28. Février 1723. A Paris ce 17. Juillet 1737. Signé, LANGLOIS, *Sindic.*

De l'Imprimerie de SEVESTRE.

ERRATA.

Page.	*Ligne.*
1	6 enſeignement, *liſez* enchaînement.
8	18 diminutions, *liſez* dimentions.
11	13 & capacites, *liſez* & les capacités.
18	22 ſérieuſement, *liſez* ſervilement.
34	13 $\frac{uu}{2}$ liſez $\frac{uu}{r}$
36	12 *Idem.*
37	23 au tourbillon, *liſez* du tourbillon.
40	7. 2. *liſez* r.
Id.	10 $\frac{uu}{2}$ liſez $\frac{uu}{r}$.
42	22 *Idem.*
Id.	u, liſez n.
43	1 & 2 $\frac{uu}{2} \times u$, liſez $\frac{uu}{r} \times n$.
Id.	20. 2 $\sqrt[3]{\frac{c}{q}}$ liſez r $\sqrt[3]{\frac{c}{q}}$.
Id.	21 le nombre u, *liſez* le nombre n.
44	4 $u =$, liſez $n =$.
Id.	7 $\frac{uu}{2} \times u$, liſez $\frac{uu}{r} \times n$.
45	8 liſez $\frac{\text{ſ}q}{c} u^2 \frac{\text{ſ}q}{c} v^2 :: u^2 ; v^2$.
52	11 liſez $\frac{\text{ſ}q}{c} u^2$.
Id.	9 liſez $\frac{\text{ſ}q}{c} u^2 . \frac{\text{ſ}q}{C} v^2$.
53	16 *liſez* à la denſité.
54	8 liſez $\frac{q^2}{C}$.
55	2 *liſez* exprimable.

Page.	*Ligne.*
Id.	*dern.* $\frac{q}{C} u^2$, lisez $\frac{q}{C} v^2$.
56	2 & 3 *Idem.*
Id.	4 lisez $\frac{Q}{C} V^2$.
Id.	6 lisez $\frac{q}{C} v^2 \; \frac{Q}{C} V^2 :: q^2 \; Q^2$.
Id.	8 lisez $\times \frac{q}{C} v^2. \frac{q}{C} v^2 \times \frac{Q}{C} V^2$.
64	8 *lisez* allumé. Lorsque le feu prend (je supose la charge suffisante) la, &c.
68	6 lisez $\frac{1}{\sqrt[3]{r^2}}$.
Id.	7 *Idem.*
Id.	8 *z*, lisez *r*.
74	1 *lisez* est plus petit.
Id.	2 *lisez* le.
76	1 lisez *cdx*.
77	15 *lisez* longueur.
79	16 lisez $n \times a$.
Id.	17 lisez $\frac{1}{n} p$.
Id.	19 lisez $\frac{b}{n}$,
Id.	21 *Idem.*
80	2. $\frac{b}{u}$, lisez $\frac{b}{n}$.
Id.	5 *Idem.*
Id.	20 *lisez* du Canon ce qui
82	12 est *a*, *lisez* a.
84	13 *lisez* toutes, & la route que l'on va suivre fera, &c.
87	10 *lisez* doit se faire. Pour mesurer cet effort dilaniateur par raport, &c.
Id.	21 *lisez* sa.

Page.	*Ligne.*	
90	9	*c*, *lisez* C.
91	8	*lisez* les épaisseurs du métal.
Id.	12	*lisez* sa quantité.
92	19	*effacez* en.
97	7	nc, *lisez* ne.
Id.	*marg.*	*lisez* experience.
Id.	9	sault, *lisez* faut.
98	16	P, *lisez p*.
99	*marg.*	Remarques pour déterminer l'épaisseur à la volée.
Id.	22	*Ponctuez ainsi.* des pieces. Pour, &c.
102	3	*lisez* raisonner.
Id.	13	*lisez* aux deux tiers du poids du boulet.
103	*marg.*	*lisez* dans toutes les, &c.
104	16	*lisez* mobile.
Id.	*marg.*	Fig. 8.
105	13	*lisez* accelerée.
Id.	14	*lisez* forces.
106	10	*lisez* pesanteur.
107	22	*lisez* parcouru.
Id.	24	*lisez* inclinaison.
108	12&13	*Idem.*
Id.	*dern.*	*lisez* Sinus.
109	19	*lisez* aux.
Id.	*marg.*	*lisez* la courbe décrite.
110	*dern.*	*lisez* de la pesanteur de ces boulets, est.
111	*marg.*	*lisez* ligne de projection.
112	16	*lisez* répond au milieu E de la ligne.
116	20	*lisez* $\frac{1}{2}$ CR².
123	14	*lisez* on sciera.
124	12	*effacez* une
125	*marg.*	*lisez* si les pieces.
130	20	chaud, *lisez* frais.
134	*dern.*	*lisez* ne puisse pas la mettre.
139	13	*effacez* de.

Page.	*Ligne.*
146	20 au lieu de ce signe ×, il faut celui-ci +.
147	2 lisez $\int . \overline{x-a} \times$ au lieu de $\int . \overline{x-a} +$.
148	12 $\frac{\overline{L-x}^2}{L^2} xaadx$, lisez $\frac{\overline{L-x}^2}{L^2} \times aadx$.
149	14 *lisez* $L^2 = L^2 - 2Lx + x^2$.
154	1 uniéme, *lisez* neuviéme.
Id.	3 *Idem.*
157	21. 2, lisez *r*.
158	4 lisez $f = \frac{\int . \overline{l+x}^2 dx \sqrt{2rx-xx}}{\int . \overline{l-x} dx \sqrt{2rx-xx}}$.
Id.	15 *lisez* $Z = \frac{5}{8} R + \frac{1}{4} \frac{\sqrt{\overline{R+r} \times \overline{4RR+rr} \times \overline{rr + \frac{25}{4} RR}}}{R^3}$.
159 & 160	*lisez* $\frac{5}{8} KR + \frac{1}{4} K \frac{\sqrt{\overline{R+r} \times \overline{4RR+rr} \times \overline{rr + \frac{25}{4} RR}}}{R^3}$.

